

El Colegio de México
Centro de Estudios de Asia y África

LA ENERGÍA NUCLEAR Y LAS ALTERNATIVAS EN LA POLÍTICA ENERGÉTICA
JAPONESA

Tesis presentada por
ALFREDO ÁLVAREZ PÉREZ

Para optar al grado de
MAESTRÍA EN ESTUDIOS DE ASIA Y ÁFRICA
ESPECIALIDAD: JAPÓN

Director:
VÍCTOR LÓPEZ VILLAFANE

Ciudad de México, 2019

A la memoria de mi abuela Tudy y de mi tío Juan Carlos

*En la búsqueda de alternativas más amables con el
medio ambiente, y por ende, con el ser humano*

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a los presentes y a los que se han adelantado. En especial, a mi madre, por su amor y apoyo incondicional; a mi padre, también por su amor y apoyo incondicional; a mi abuela Tudy y a mi tío Juan Carlos, siempre presentes. A Mayumi, por acompañarme en este camino.

A quienes apoyaron económicamente mi estancia en el Colegio de México y mi investigación en Japón: el CONACYT, Fundación Japón, El Colegio de México, la beca JASSO.

A mi director de tesis, el Dr. Víctor López Villafaña, por siempre estar al pendiente y alumbrar el andar de esta investigación con sus consejos y comentarios.

A mis profesores del Centro de Estudios de Asia y África de El Colegio de México; a los del área de Japón, primero por aceptarme en este camino de los estudios japoneses, por las oportunidades que me han brindado, y también por sus enseñanzas: Dra. Michiko Tanaka, Dra. Yoshie Awaihara, Dr. Amaury García Rodríguez, Dra. Satomi Miura, Dr. Alfredo Román Zavala, Dr. Fernando Villaseñor Rodríguez, Dra. Emma Mendoza Martínez. Asimismo, quiero agradecer a los profesores de otras áreas del CEAA, por enriquecer esta experiencia de muchas maneras: Dr. José Antonio Cervera Jiménez, Dr. Carlos Mondragón Perezgrovas, Dr. John Marston, Dra. Hilda Varela Barraza, Dr. Juan José Ramírez Bonilla.

Al Dr. Carlos Uscanga, por su apoyo en este camino de los estudios japoneses.

Al profesor Tetsuro Katō, de quien recibí excelentes consejos durante mi estancia en Japón.

Al personal de Aizu-Denryoku, por su tiempo y por sus esfuerzos en Fukushima.

A todos mis profesores del Instituto Cultural Mexicano Japonés, en especial a la profesora Hozumi. Los considero parte de este camino.

A mis amigos y compañeros de esta maestría, por la alegría y experiencias compartidas.

RESUMEN

El tema que trata el presente trabajo es el lugar que ocupan la energía nuclear y las energías renovables en la política energética japonesa (PEJ) y la competencia entre estas fuentes de energía que se desarrolla en el marco de la transición energética de Japón. Los cuestionamientos que se atienden son si el uso de la energía nuclear es indispensable para el sistema energético japonés y, si existe la posibilidad de cubrir la demanda eléctrica de Japón mediante energías renovables. Asimismo, se cuestiona el planteamiento de la dependencia energética como un problema estructural para la PEJ. La aproximación a este tema es mediante una metodología que inserta a estas fuentes de energía en sistemas socio-tecnológicos más generales (en un sistema energético centralizado y uno distribuido) y analiza algunos de los componentes más relevantes de estos sistemas. Estos componentes van desde las estructuras organizacionales que regulan y operan dichos sistemas tecnológicos, hasta algunas de las características tecnológicas y económicas que operan para determinar las factibilidades en torno al desarrollo de estos sistemas tecnológicos. Se sostiene la hipótesis que establece que en un sistema energético centralizado, la energía nuclear adquiere ventajas sobre las energías renovables, mientras que lo contrario tiende a manifestarse en un sistema energético distribuido. Asimismo, se sustenta que la transición energética de Japón –de un sistema energético centralizado a uno distribuido– ocurrirá de manera paulatina, dentro de un sistema de fuerzas en el que muchos de los elementos tecnológicos y sociales empujan a favor de ella, mientras que las estructuras organizacionales existentes y otros intereses *ajenos* a la PEJ continuarán empujando en dirección opuesta.

Palabras clave: *política energética; energía nuclear y energías renovables; transición energética; sistema energético centralizado y distribuido; dependencia energética.*

ABSTRACT

The topic of this work is the place that nuclear energy and renewable energies take in the Japanese Energy Policy (JEP) and the competition among these sources in the frame of the Japanese energy system transition. The main questions posed are concerned with the need of nuclear energy for the entire system and with the feasibility of supplying the national electricity demand with the sole use of renewable energies. Likewise, it is put under consideration the mere posing by the JEP of the national energy dependence as a structural problem. The methodology applied is the insertion of these energy sources into more general socio-technological systems (a centralized energy system and a distributed one) and the analysis of some of the most relevant components of these systems in order to determine their long term feasibilities. These components include the organizational structures that regulate and operate these systems, and some of the technical and economical characteristics that constrain them. This work supports the hypothesis that in a centralized energy system, nuclear energy has many advantages over renewables, while renewables are more competitive in a distributed energy system. Likewise, it is sustained that the Japanese energy transition –from a centralized to a distributed energy system– will occur gradually, immersed in a force system in which many of the social and technical elements will push in favor of this transition, while the existing organizational structures and other interests not concerned with the JEP will continue to pull in the opposite direction.

Key words: Energy Policy; nuclear and renewable energies; Energy transition; centralized and distributed energy systems; Energy dependence.

Contenido

PRESENTACIÓN	8
1.0 INTRODUCCIÓN	14
1.1 LA FORMACIÓN DEL SISTEMA ENERGÉTICO CENTRALIZADO JAPONÉS	14
1.1.1 LA DEPENDENCIA	14
1.1.2 LAS ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES	15
1.2 LIMITACIONES DEL SISTEMA	17
1.3 HACIA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA.....	22
1.4 LINEAMIENTOS BÁSICOS DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA JAPONESA (2018)	24
1.4.1 LOS PROBLEMAS QUE IDENTIFICA LA POLÍTICA ENERGÉTICA	25
1.4.2 CAMBIOS EN DISTINTOS ÁMBITOS DE LA INDUSTRIA ENERGÉTICA Y DE LA MEZCLA ENERGÉTICA.....	26
1.5 NOTAS FINALES.....	28
2.0 LA OPCIÓN NUCLEAR	29
2.1 DESARROLLO DE LA POLÍTICA E INDUSTRIA NUCLEAR EN JAPÓN	29
2.2 LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL SISTEMA NUCLEOELÉCTRICO JAPONÉS	37
2.2.1 ELEMENTOS OPERATIVOS DE LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	38
2.2.2 TEPCO.....	43
2.2.3 ELEMENTOS REGULADORES DE LA POLÍTICA NUCLEAR	46
2.3 LA ESTRUCTURA FÍSICA DEL SISTEMA NUCLEOELÉCTRICO.....	50
2.3.1 REACTORES NUCLEARES	51
2.2.2 ROKKASHO.....	53
2.4 FACTIBILIDADES DE LA ENERGÍA NUCLEAR.....	55
2.4.1 LOS COSTOS DIRECTOS Y LAS UTILIDADES DE LA INDUSTRIA NUCLEOELÉCTRICA	55

2.4.2 LOS SUBSIDIOS A LA ENERGÍA NUCLEAR	59
2.4.3 LOS COSTOS DEL RIESGO DE UNA CATÁSTROFE NUCLEAR	61
2.4.4 EL CICLO DE COMBUSTIBLE Y LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS RADIOACTIVOS.....	63
2.5 ¿ES INDISPENSABLE EL USO DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN JAPÓN?	68
3.0 LAS ALTERNATIVAS	73
3.1 LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA POLÍTICA ENERGÉTICA.....	73
3.1.1 PRIMERAS POLÍTICAS (S. XX).....	73
3.1.2 SISTEMA RPS	76
3.1.3 SISTEMA FIT	77
3.2 ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES	80
3.2.1 ELEMENTOS REGULADORES	80
3.2.2 ELEMENTOS OPERATIVOS	83
3.3 SISTEMA FÍSICO	86
3.3.1 POTENCIAL LATENTE	86
3.3.2 INFRAESTRUCTURA INSTALADA	88
3.4 FACTIBILIDADES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS.....	90
3.4.1 COSTOS DEL SISTEMA FIT	90
3.4.2 COSTOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	93
3.4.3 PROBLEMAS DE CONECTIVIDAD	94
3.5 ¿PUEDE CUBRIRSE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD CON FUENTES RENOVABLES? ...	99
4.0 CONCLUSIONES	104
BIBLIOGRAFÍA.....	110
ANEXOS.....	115
SOBRE EL COMBUSTIBLE NUCLEAR Y EL CICLO DE COMBUSTIBLE	133

PRESENTACIÓN

La política energética japonesa (PEJ) y el complejo sistema de relaciones burocrático-industriales que la define, consideran la dependencia energética como la principal debilidad del sistema energético japonés, y como la mayor amenaza a la seguridad energética de Japón. A lo largo de varias décadas, uno de los principales objetivos de la PEJ ha sido disminuir esta dependencia mediante el uso de tecnologías y recursos locales. Durante más de cuarenta años, la energía nuclear fue considerada como la opción más viable para atender esta condición y se destinó enorme cantidad de recursos para desarrollar la infraestructura física e institucional necesaria para el establecimiento de una industria nuclear. En 2010 la industria nuclear japonesa ya era una de las más grandes del mundo y suministraba el 30% de la energía eléctrica en Japón, aunque nunca estuvo exenta de problemas y *accidentes*. No obstante la manifestación de diversas formas de avisos sobre la problemática y sobre los riesgos que la industria nuclear presentaba, tales como *accidentes* o informes acerca de desperfectos desde la propia industria y la academia, no fue sino hasta el desastre nuclear de Fukushima que la problemática asociada a este sistema tecnológico quedó ampliamente expuesta. Mas a pesar de la incertidumbre y la compleja problemática que aún persiste en torno a la continuidad de este sistema tecnológico, la PEJ sigue considerando la energía nuclear como un elemento indispensable.

Por otra parte, el uso de las energías renovables se ha difundido bastante en los últimos años, gracias a la implementación de estrategias y políticas que promueven su utilización y a los cambios tecnológicos relacionados con este proceso. Estas fuentes de energía representan una alternativa para disminuir la dependencia energética de Japón y, posiblemente, para evitar el uso de la energía nuclear y los riesgos que conlleva.

La resultante ha sido una competencia multidimensional que protagonizan estas fuentes de energía (nuclear y renovables) por ocupar un lugar –o no perderlo– en el mercado energético de Japón; mas este protagonismo, no obstante, es sólo la portada de un tema con amplio fondo. Este estudio analiza la competencia entre estas fuentes de energía, y cuestiona por una parte, el carácter de indispensable que la PEJ le ha asignado a la energía nuclear, y por otra, la viabilidad de utilizar extensamente las energías renovables para proveer un suministro confiable de energía en Japón y disminuir su dependencia energética.

La presente investigación argumenta que estos sistemas tecnológicos (de las energías renovables y nuclear) no pueden desarrollarse plenamente de manera paralela, pues cada uno requiere de un modelo distinto de operación y funcionamiento para maximizar su desarrollo. Para explicar esto, en este trabajo se estudian estas fuentes de energía inscribiéndolas en sistemas socio-tecnológicos más generales. I.e., por un lado, en un sistema energético centralizado –en el que el uso de la energía nuclear es bastante propicio–, y por otro lado, en un sistema energético distribuido –en el que las energías renovables adquieren sustanciales ventajas competitivas–.

La definición de sistema energético centralizado y el sistema energético distribuido que se utiliza en este trabajo se da de la siguiente manera:

Un sistema energético centralizado es aquél en el que la energía (en este caso eléctrica) se produce, se transmite y se distribuye por una sola entidad corporativa o por un grupo selecto de empresas, bajo un esquema de monopolio. La energía se mueve en una sola dirección: de los productores a los consumidores, y de altos voltajes a bajos voltajes (en dirección río abajo). La toma de decisiones

se concentra en un grupo conformado por élites industriales, burocráticas y/o gubernamentales, y por lo tanto, desde una posición centralizada se definen los lineamientos de la política energética nacional, regional y local.

Un sistema energético distribuido es aquél en el que la energía se produce, se transmite y se distribuye por diferentes actores (distribuidos) cuya operación es regulada –en principio– por mecanismos de mercado. La energía se produce en múltiples instalaciones de generación y captación. La energía puede viajar de manera *bidireccional*, pues los productores pueden ser consumidores y los consumidores pueden ser productores, al mismo tiempo. La energía eléctrica puede ser transmitida *río abajo*, y a medio camino –si se requiere– puede ser transformada a voltajes superiores (*río arriba*) para transmitirla a ubicaciones remotas. La toma de decisiones también se distribuye entre los actores que participan (industria, burocracia, gobierno, consumidores y ciudadanos) y en las distintas escalas en las que la política energética opera (nacional, regional y local).

En el entorno descrito anteriormente, asimismo, este trabajo argumenta que el sector energético japonés se encuentra ante la posibilidad y en proceso de transitar hacia un sistema esencialmente diferente –hacia un sistema energético distribuido–, pero, como sostiene una de las hipótesis de este trabajo, aún hay fuerzas que tiran en dirección opuesta a la de un cambio sustancial. Mediante el planteamiento y estudio de este sistema de fuerzas, este trabajo tiene por objetivo analizar la competencia entre estos sistemas tecnológicos (energías renovables y nuclear), su posición en la PEJ y plantear algunas de las posibilidades de cambio para el sistema energético japonés que podrían derivar de una transición energética.

Para alcanzar este objetivo, se utiliza una metodología que inscribe a estas fuentes de energía en sistemas socio-tecnológicos más generales (a la energía nuclear en un sistema energético centralizado y a las energías renovables en un sistema energético distribuido) y estudia algunos de los componentes que rigen el funcionamiento de estos sistemas. Dichos componentes son las estructuras organizacionales que dirigen y operan cada sistema tecnológico, los sistemas físicos (la infraestructura), algunos factores técnicos y económicos relevantes para el éxito de estos sistemas y una breve cuenta sobre el desarrollo de las políticas en torno a estos sistemas tecnológicos. Los resultados de este estudio se utilizan para analizar la forma en que estos sistemas tecnológicos contribuyen a la atención de los problemas que plantea la PEJ; y para esquematizar –de la manera más completa posible– el sistema de fuerzas que actúa sobre el sistema energético japonés y sobre la PEJ en torno a estos sistemas tecnológicos. Una de las limitaciones que esta metodología presenta, y que se tiene en cuenta, es que si bien estos componentes se consideran los más relevantes, es imposible abarcar todo el espectro de elementos que componen a estos sistemas socio-tecnológicos.

La estructura del trabajo consta de una introducción, dos capítulos sobre cada uno de estos sistemas tecnológicos, i.e., un capítulo dedicado a la energía nuclear en Japón, inmersa en un sistema energético centralizado, y otro capítulo a las energías renovables, inscritas en un sistema energético distribuido; y finalmente, la conclusión. La introducción presenta un análisis sobre algunas de las cuestiones más relevantes del desarrollo del sistema energético centralizado de Japón y de la política energética japonesa, principalmente en torno a los sistemas tecnológicos objeto de estudio (las energías renovables y la energía nuclear). Los siguientes capítulos abordan el análisis de los componentes mencionados de los sistemas tecnológicos en cuestión. Dos de las preguntas de investigación que se buscan contestar en

estos capítulos son: (1) ¿Es indispensable el uso de la energía nuclear en Japón bajo cualquier modelo energético? (2) ¿En qué medida puede cubrir Japón su demanda energética con energías renovables?

La primera hipótesis de este trabajo establece que el sistema energético japonés se encuentra en una fase de transición tecnológica entre un modelo centralizado y uno distribuido, impulsada principalmente por políticas que han propiciado el crecimiento del mercado de energías renovables y, a su vez, esto ha derivado en cambios tecnológicos y en la reducción de los costos de estas energías. Sin embargo, el proceso de transición está siendo ralentizado por las estructuras organizacionales que controlan la toma de decisiones en materia de política energética y que son parte del propio sistema energético centralizado, y cuya forma y objetivos son legados de estructuras políticas e ideologías añejas.

La segunda hipótesis sostiene que para que la industria nuclear opere nuevamente de manera *funcional*, se debe mantener el modelo que hasta ahora ha prevalecido, en el que la toma de decisiones se concentra en las élites burocrático-industriales y las energías renovables funcionan de manera periférica; por el contrario, para que el sistema de energías renovables se extienda hasta alcanzar su máximo potencial, se debe concretar la transición energética hacia un modelo en el que la toma de decisiones y la producción de energía se distribuya en un amplio número de actores y opere bajo reglas de mercado. En un sistema como este, además, la energía nuclear perdería competitividad en distintos sentidos y tendería a desaparecer. Por lo tanto, los sistemas tecnológicos de estas fuentes de energía no pueden alcanzar su máximo potencial paralelamente bajo el mismo modelo de desarrollo. La única forma en que estos sistemas tecnológicos podrían coexistir y desarrollar sus máximas capacidades a la vez, es en uno donde la transición energética hacia un sistema distribuido se complete y la industria

nuclear sea protegida por el Estado, bajo un consenso en el que todos los actores de la sociedad acepten, de manera consciente e informada, correr con los riesgos y con los costos que su uso conlleva.

Por último, cabe mencionar que en el marco del combate al cambio climático, del incremento de la población mundial y de la integración de más y más personas a modelos de consumo *modernos*, así como del agotamiento de los combustibles fósiles que han sido precursores de estos fenómenos, ambos sistemas tecnológicos (energía nuclear y renovables) han sido presentados como alternativas viables para aminorar las consecuencias negativas de las actividades humanas; no sólo en Japón, sino en muchas partes del mundo. Japón es un país con pocos recursos naturales, donde algunas estrategias para atender a esta condición convergen con las soluciones a los problemas concernientes a los objetivos internacionales de desarrollo sustentable, por lo que analizar la trayectoria y el devenir de estos sistemas tecnológicos en Japón y en su política energética, representa un interesante e importante caso de estudio.

1.0 INTRODUCCIÓN

1.1 LA FORMACIÓN DEL SISTEMA ENERGÉTICO CENTRALIZADO JAPONÉS

1.1.1 LA DEPENDENCIA

La dependencia energética que hoy aqueja al sistema energético japonés comenzó a gestarse al término de la Segunda Guerra Mundial, debido a diversos factores¹. Hasta la década de 1950, las fuentes principales de energía en Japón fueron la hidroeléctrica y la termoeléctrica con base en el carbón (ver tabla 1.1). Sin embargo, la industria del carbón atravesó por varias dificultades que abrieron paso a la opción de incrementar las importaciones de petróleo, que habían sido limitadas con el fin de proteger la industria doméstica del carbón (Nakamura, 1990). En esta misma década, los descubrimientos de vastos yacimientos de petróleo en Medio Oriente y la alta producción de crudo que se mantuvo hasta comienzos de los 1970s, contribuyeron a mantener una oferta barata, abundante y constante de petróleo en el mercado internacional. Estas condiciones se convirtieron en uno de los factores de los que se sirvió Japón para *energizar* su rápido crecimiento industrial y económico y que posibilitaron el llamado milagro japonés (Nakamura, 1990). Como se muestra en la tabla 1.2, en este periodo, el consumo energético de Japón creció casi a la par de su economía, con excepción de los años posteriores a las crisis del petróleo, en los que vale la pena notar que el crecimiento económico no se detuvo. De esta manera, la construcción de un sistema energético centrado en el uso de recursos energéticos importados y de alta densidad energética –principalmente petróleo de

¹ Aunque es menester no olvidar que uno de los motivos principales que impulsaron el expansionismo militar japonés de la década de 1930 fue la búsqueda del control de recursos naturales y energéticos de los que carecía en propio territorio.

Medio Oriente— comenzó a dar forma a un sistema energético altamente centralizado y dependiente.

1.1.2 LAS ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES

Desde su fundación en 1949, el Ministerio de Industria y Comercio Internacional (MITI) cumplió la función de dirigir la toma de decisiones tanto en materia de política industrial como en la política energética. Este modelo *desarrollista*, que centraliza la toma de decisiones en órganos burocráticos, fue suelo fértil para la industria energética y nuclear, y ha sido parte de las estrategias de desarrollo económico, tecnológico y militar de Japón, desde la conformación del Estado moderno en la Era Meiji (Samuels, Rich Nation, Strong Army, 1994). Este modelo, asimismo, ha propiciado el beneficio mutuo de los grupos de élite que lo integran y lo dirigen, aunque esto llegue a implicar una carga para las personas ajenas a estos círculos. Cuando la carga que se ejerce sobre la población parece excesiva, la salida es apelar al *entendimiento* de las personas, argumentando que el *sacrificio* es necesario, por el bien común. El resultado, normalmente, es la imposición de este *régimen* que, mediante ciertos ajustes o concesiones, logra disipar los intentos de otras fuerzas que buscan modificar el rumbo de las políticas y decisiones tomadas.

Por su parte, la industria energética fue una de las claves para la recuperación económica de Japón después de la Segunda Guerra Mundial. Durante el periodo de ocupación, la generación, transmisión, y distribución de energía eléctrica se puso en manos de empresas *privadas* con jurisdicción regional y bajo un esquema de monopolios regionales. En 1952 se

estableció la asociación conocida como *Denjiren*², integrada por estas compañías regionales de electricidad (tabla 1.3). En la forma que toma la infraestructura física, congruentemente, se observa el mismo esquema de regionalización, donde una de las principales características es la imposibilidad de transmitir grandes cantidades de energía eléctrica de una región a otra; además de existir una diferenciación de frecuencias de transmisión en el oriente y occidente del país, característica heredada desde la era Meiji.

Otra industria del sector energético que creció rápidamente, bajo esquemas similares, fue la industria de exploración y desarrollo de recursos petroleros. Las empresas que se crearon en este periodo aún existen, aunque no exentas de transformaciones. Las más importantes, tanto privadas como estatales, se convirtieron en corporaciones globales dedicadas a la exploración y comercialización de hidrocarburos, y poseen activos y acciones en distintas partes del mundo. Estas corporaciones se gestaron y se desarrollaron a la par de la industria de generación de energía (tabla 1.3) y han sido utilizadas como un instrumento para aminorar los efectos negativos de la dependencia energética de Japón.

El carácter semipúblico de las compañías regionales de electricidad y algunas de las empresas de hidrocarburos, se expresa en diversas prácticas que el Estado japonés ha implementado desde comienzos de su modernización, para desarrollar y fortalecer ciertas industrias; entre las principales prácticas se encuentra la canalización de recursos económicos a industrias estratégicas, el empleo de políticas fiscales que las favorecen, el *amakudari*, entre otras. Estas prácticas han contribuido a fomentar una relación muy estrecha entre la industria –

² 電気事業連合会 (電事連). Federación de Compañías de Electricidad, por sus siglas en inglés: (FECP). Establecida en 1952 y en la que participan las 10 empresas regionales de electricidad.

representada por organizaciones como el *Keidanren*³– y la burocracia de Japón. De la misma manera, el sistema político, en particular el Partido Liberal Demócrata (PLD) se ha servido de estas condiciones y ha coadyuvado en esta relación –Industrial burócrata– para mantener la estabilidad política en el país.

Grosso modo, de esta manera se estableció un sistema organizacional vertical y centralizado, en el que el diseño de la política energética, el diseño de la infraestructura física y la toma de decisiones, quedaron concentrados en las élites de las industrias e instituciones burocráticas y políticas mencionadas. Por su parte, la política nuclear siempre ha sido dictada, diseñada y modificada por organismos estatales del más alto nivel –el gabinete del primer ministro⁴– y por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI), el sucesor del MITI.

1.2 LIMITACIONES DEL SISTEMA

Los primeros golpes que sufrió este sistema llegaron en la década de 1970, con las crisis del petróleo (1973 y 1979) ocasionadas por conflictos geopolíticos en Medio Oriente, y por caer en la cuenta de las vulnerabilidades que conlleva un sistema que depende de recursos importados y cuyo eventual agotamiento es inevitable; aunque esto es parte del precio del rápido crecimiento que presentó Japón en este periodo. Esta situación se sumó a otros acontecimientos en el plano internacional que supusieron una amenaza para los intereses internacionales de Japón. Por una parte, el fin del patrón oro declarado por el presidente R. Nixon y la flotación del yen significaron un golpe para las exportaciones de las que tanto dependía la economía japonesa. Por otra parte, el cambio en las relaciones entre Estados

³ 日本経済団体連合会（経団連）.La Federación de Asociaciones Económicas de Japón.

⁴ El Kantei (官邸)

Unidos y China al finalizar la guerra de Vietnam supuso una amenaza a la posición de Japón como nación favorecida por Estados Unidos en la región (López Villafañe, 2015). Aunado esto a la inestabilidad política en Medio Oriente y a la posición de Estados Unidos frente a esta problemática –que no siempre va en sintonía con los intereses de Japón en aquella región–, lo que resulta es un dilema para la postura geopolítica de Japón, y una de sus respuestas ha sido tratar de depender menos en recursos extranjeros.

En este contexto de incertidumbre por la seguridad energética, el MITI tomó varias medidas, como la diversificación de proveedores de energéticos y la inversión en investigación y desarrollo de nuevas fuentes de generación de energía, v.gr., energías renovables. A pesar de la subida de precios del petróleo, los efectos de las crisis no fueron tan pesados en Japón como en otros países, en parte por no estar involucrado de manera directa en los conflictos geopolíticos de la zona y en parte por los alcances de las empresas petroleras domésticas que estaban ya expandidas por distintas partes del mundo (Goodman, 1982). Más aún, las empresas petroleras japonesas que operaban desde antes de las crisis se vieron en buena medida beneficiadas por el alza de los costos del petróleo (Pollio & Uchida, 1999). Por otra parte, la industria nuclear japonesa que comenzó a expandirse rápidamente en esta década (1970), se presentaba como un elemento ideal para el sistema energético centralizado de Japón y para atender el problema de la dependencia energética.

En verdad, a partir de las décadas de 1950 y 1960, la política energética de muchos países industrializados observó el uso de la energía nuclear y la llamada “economía del plutonio” como una fuente prometedora para satisfacer la creciente demanda de energía de un mundo cuyas necesidades de consumo, tanto de productos como de servicios, iban en ascenso casi *vertical*. Precisamente, a partir de este periodo, la población mundial comenzó a multiplicarse

rápidamente y se fueron incrementando los niveles de consumo *per cápita* conforme más y más sociedades se iban incorporando a la *modernidad*; consiguientemente, el impacto ambiental de las actividades humanas se volvió cada vez más pesado, a tal grado de proponer –con evidencias– el inicio de la nueva era geológica: el Antropoceno (Ellis, 2018). Aunque las consecuencias del incremento de las actividades humanas no fueron ponderadas seriamente sino hasta décadas después.

Japón fue el país industrializado que más rápidamente creció en este periodo, y debido a sus características geográficas y a la escasez de recursos energéticos en su territorio, se convirtió también en una de las naciones más dependientes en el exterior: uno de los precios del rápido desarrollo económico. Desde el punto de vista de la política energética, las tecnologías nucleares que harían posible el desarrollo de la llamada economía del plutonio representaban la oportunidad de deshacerse de su dependencia energética mediante recursos tecnológicos domésticos. Bajo la ya añeja ideología *tecnonacionalista* que permeaba en distintos ámbitos de la vida institucional de Japón (Samuels, Rich Nation, Strong Army, 1994), se pusieron en marcha distintos proyectos de investigación y desarrollo (I&D) cuyo objetivo último era alcanzar la independencia energética mediante el uso de plutonio como combustible nuclear. A este objetivo se le ha conocido como: el sueño tecnológico de Japón.

No obstante las esperanzas puestas en estas tecnologías, varios acontecimientos en el plano internacional a finales de la década de 1970 y en la de 1980, engendraron serias dudas sobre la confiabilidad y seguridad de un sistema tecnológico con las características que posee el de la energía nuclear. En distintos países, muchos de los proyectos relacionados con el uso del plutonio como combustible nuclear fueron cancelados y la visión de la economía del plutonio fue abandonada (もんじゅ君, 2013). De igual manera, se detuvieron los planes de crecimiento

para las industrias nucleares de muchos países. Sin embargo, en algunos casos, como el de Japón, la industria nuclear continuó expandiéndose y se mantuvieron muchos de los proyectos de I&D para alcanzar el llamado sueño tecnológico.

En la década de 1990, en el mundo comenzaron a cobrar fuerza las preocupaciones y las evidencias en torno a los daños medioambientales y al cambio climático global producto de las actividades humanas. Uno de los parámetros al que se le ha prestado mayor atención ha sido la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que alteran la química de la atmósfera y –entre otros efectos negativos– la hacen más propensa a conservar el calor y, por lo tanto, a incrementar la temperatura media del planeta⁵. En el marco de la Cumbre de Río (1992) y bajo el Protocolo de Kioto (1997), muchos países adquirieron compromisos para disminuir sus emisiones de GEI. La industria energética es la mayor emisora de estos gases, en especial, por la quema de combustibles fósiles. Para frenar el uso de estas fuentes de energía –proceso llamado *descarbonización*⁶ del sistema energético–, la utilización de las energías renovables surgió como una alternativa importante, aunque en aquel tiempo aún no se contaba ni con la infraestructura necesaria ni con el nivel de desarrollo tecnológico suficiente, por lo que el uso de estas fuentes de energía era poco eficiente y bastante caro. A pesar de que la energía nuclear también es una fuente energética con bajas emisiones de GEI, su uso ya estaba en declive en muchos países, principalmente en países del Norte de Europa, por lo que se favoreció a las energías renovables mediante políticas que incentivaron tanto el desarrollo tecnológico como el crecimiento de los mercados de estas fuentes de energía, derivando

⁵ El dióxido de carbono (CO₂) no es el único gas de efecto invernadero, pero es significativo por ser un subproducto de la combustión de materia orgánica, como los combustibles fósiles. El resto de los gases de efecto invernadero se cuantifican comúnmente en CO₂ equivalente.

⁶ En este contexto, la *descarbonización* es la disminución de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero.

finalmente en procesos de transformación de los sistemas energéticos de estos países. Una de las resultantes de estas medidas fue la paulatina disminución de los costos de estas tecnologías y el incremento de su competitividad, no solo en los lugares donde estas políticas fueron implementadas, sino también en el mercado internacional.

La política nuclear japonesa, no obstante, continuó privilegiando el uso de la energía nuclear, y aunque se le dio cabida al uso de fuentes renovables, solo fue de manera periférica y limitada, sin derivar en grandes modificaciones del sistema energético o de las regulaciones que norman su operación. La energía nuclear, al no ser responsable de abundantes emisiones de GEI, y al estar consolidada en el sistema energético de Japón, su uso ha podido adaptarse tanto al discurso de los objetivos de la política energética japonesa como al de las metas establecidas en materia medioambiental y de desarrollo sustentable. Ergo, a pesar de los problemas por los que había atravesado la industria a lo largo de su existencia, como problemas técnicos y *accidentes*, escándalos de corrupción incluyendo casos de suicidio, las presiones externas por la liberalización del mercado energético, los altos montos de inversión necesarios para la construcción de instalaciones nucleares y los riesgos financieros que conlleva, la industria nuclear continuó con sus planes de crecimiento.

Hacia comienzos de la segunda década del presente siglo, la industria nuclear japonesa era la tercera más grande del mundo (World-Nuclear Organization, 2019); en 2010 producía cerca del 30% de la electricidad que se consumía en Japón y contribuía con el 10% del suministro energético primario; la dependencia energética de Japón era del 82% (FF). Sin embargo, en marzo de 2011, este sistema tecnológico mostró una de sus peores caras. Tras el gran terremoto y tsunami de Tōhoku, cortes en el suministro eléctrico, fallas en los sistemas de enfriamiento y de emergencia de los reactores 1, 2, 3 y 4 y de la alberca (no. 4) de

almacenamiento provisional de combustible nuclear de la planta nuclear No.1 de Fukushima⁷, así como la incapacidad institucional para atender oportunamente la contingencia, ocasionaron el desastre nuclear más grande en la historia. Además de las consecuencias catastróficas, el desastre supuso una coyuntura para la PEJ y para el sistema energético japonés. En primera instancia, se puso sobre la mesa un duro debate acerca del uso de la energía nuclear en Japón y se abrió una posibilidad de cambio para transformar el sistema energético y buscar alternativas al uso de la energía nuclear.

1.3 HACIA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

En los últimos años, el uso de energías renovables en Japón se ha incrementado considerablemente gracias a políticas que han propiciado la reducción de los costos de su uso y a las oportunidades de negocio que ofrece a pequeños y medianos empresarios, así como por el apoyo que ha recibido por parte de amplios sectores de la sociedad. En 2017 todas las fuentes de energía renovable contribuyeron con el 16% de la energía eléctrica generada en Japón (tabla 1.4), y su potencial de crecimiento es enorme, aunque para aprovechar estos recursos es necesario implementar cambios significativos en la infraestructura del sector energético y en la normatividad. Los avances logrados hasta ahora pueden ser comprendidos como una fase de un proceso de transición, y aún hay algunas regulaciones que estarán entrando en vigor en 2020. No es fácil, sin embargo, vislumbrar la profundidad de los cambios que devendrán de la implementación de estas nuevas normas, debido a que hay fuerzas dentro del sistema energético que tiran en dirección opuesta, y reflejo de esto es el debate en torno al

⁷ Fukushima Daiichi (福島第一)

uso de la energía nuclear en Japón que surgió después del desastre nuclear de 2011, que persiste hasta ahora.

Este debate toma la siguiente forma: la seguridad energética depende de proveer un suministro de energía estable, económico y amigable con el medio ambiente⁸. Para obtener este resultado, se plantea la necesidad de disminuir la dependencia energética en fuentes extranjeras y disminuir el uso de combustibles fósiles para reducir las emisiones de GEI. Las opciones que actualmente podrían cumplir de mejor manera con estos requisitos son la energía nuclear y las renovables. Bajo esta premisa, por un lado, está la postura de quienes afirman que la energía nuclear es una fuente confiable, barata y estable, y que sin su uso, la economía japonesa correría graves riesgos pues las alternativas son, por lo contrario, inestables, caras, poco confiables e insuficientes. Por otro lado están quienes dan cuenta de que las energías renovables son cada vez más competitivas, su variabilidad (inestabilidad) puede ser controlada, son abundantes, y son en realidad la única fuente doméstica con la que cuenta Japón; y a diferencia de la energía nuclear, las renovables no generan grandes problemas de contaminación ni desechos radioactivos, ni significan un riesgo latente de una catástrofe nuclear (安田, 2016).

Con estos y otros argumentos que serán tratados más adelante, el debate sobre el rumbo de la política energética ha continuado desde entonces. Por su parte, la postura actual de la política energética no se decanta por ninguna de estas posiciones, sino que opta por una postura intermedia, o más bien ambigua. El discurso del plan básico de energía 2018

⁸ 3E+S (Economía, Ecología, Estabilidad y Seguridad)

(PBE2018)⁹ establece en sus líneas a las energías renovables como el sistema tecnológico de generación de energía con prioridad de expansión, aclarando que aún existen dificultades para su rápido desarrollo, por lo que define el uso de la energía nuclear como indispensable para continuar aminorando la dependencia energética mientras crece el sistema de energías renovables (経済産業省, 2018). Consiguientemente, la política energética considera la expansión del uso de energías renovables como prioritario, y el uso de la energía nuclear como indispensable. En otras palabras, establece una directriz en la que ambos sistemas tecnológicos deben continuar su desarrollo de manera paralela. Este estudio analiza ambos sistemas tecnológicos y los inscribe en sistemas tecnológicos más amplios¹⁰ para tratar de demostrar la hipótesis que sostiene que ambos sistemas no pueden alcanzar su máximo potencial de desarrollo de manera paralela, bajo un mismo modelo.

1.4 LINEAMIENTOS BÁSICOS DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA JAPONESA (2018)

La política energética de Japón se revisa periódicamente, cada cuatro años, aproximadamente, y se publican sus objetivos, directrices y lineamientos en el documento titulado Plan Básico de Energía (PBE)¹¹, elaborado por el METI¹². El PBE de 2018 (PBE2018) atiende en sus lineamientos principalmente 3 temas: (1) los problemas estructurales del sistema energético japonés; (2) los cambios en distintos ámbitos de la industria energética y; (3) las matrices energéticas de Japón para 2030 y 2050.

⁹ エネルギー基本計画 2018. Documento que establece los lineamientos básicos de la política energética.

¹⁰ A la energía nuclear en un sistema energético centralizado; a las energías renovables, en un sistema energético distribuido.

¹¹ エネルギー基本計画

¹² 経済産業省. Ministerio de Economía, Comercio e Industria

1.4.1 LOS PROBLEMAS QUE IDENTIFICA LA POLÍTICA ENERGÉTICA

Los problemas estructurales que identifica la política energética son: (1) la debilidad por la dependencia en recursos energéticos extranjeros; (2) los cambios en la estructura de la demanda energética en el mediano y largo plazo; (3) la previsible desestabilización de los precios de los energéticos en mercados internacionales y; (4) la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (経済産業省, 2018).

En primer lugar, se observa que la dependencia energética es identificada como un problema *estructural*, pero el análisis no puede continuar sin cuestionar este planteamiento. No obstante la existencia de este problema, vale la pena traer al análisis otra forma de plantear la dependencia energética: como un resultado *natural* del rápido desarrollo económico e industrial de una nación cuyo territorio está caracterizado por la escasez de recursos naturales. Este planteamiento propone considerar la dependencia energética no como un problema estructural, sino como una consecuencia poco deseable de un proceso cuyos resultados sí pueden ser considerados deseables. Sin subestimar las desventajas que cualquier dependencia supone, también es importante considerar que tratar de eliminar la dependencia energética a expensas de cualquier sacrificio y cualquier costo –considerándola un problema estructural–, es un planteamiento que en el pasado ha servido para justificar estrategias demasiado riesgosas.

En tanto a los cambios de la estructura de la demanda, el PBE2018 hace referencia a los abruptos cambios demográficos por los que atravesará Japón en los próximos años y décadas, y que afectarán la forma de la demanda energética. El reto para la política energética será atender los cambios de la demanda con los ajustes adecuados del lado de la oferta. El tercer problema planteado, la inestabilidad de precios de los energéticos, puede entenderse como

resultado de la dependencia en recursos extranjeros, condición que permanecerá por lo menos durante un tiempo prolongado y en el que es previsible que los mercados internacionales de energéticos atraviesen por periodos de inestabilidad. Las estrategias planteadas son disminuir la dependencia en el extranjero y mantener reservas suficientes de energéticos. En cuanto al problema que representa la emisión de GEI, la respuesta de la política energética es la *descarbonización* del sistema energético. De manera coincidente, las soluciones propuestas para los problemas mencionados –la disminución de la dependencia energética y la *descarbonización* del sistema energético–, convergen en la estrategia de incrementar el uso de fuentes de energía domésticas que, según la política energética, son la energía nuclear y las energías renovables.

1.4.2 CAMBIOS EN DISTINTOS ÁMBITOS DE LA INDUSTRIA ENERGÉTICA Y DE LA MEZCLA ENERGÉTICA

En cuanto a los cambios en distintos ámbitos de la industria energética, el PBE2018 identifica los siguientes tres: (1) el comienzo de una competencia tecnológica por la *descarbonización*¹³ de la industria; (2) el incremento de riesgos geopolíticos por cambios tecnológicos y; (3) la intensificación de la competencia entre Estados e industrias (PBE2018).

En torno a estos cambios, los sistemas tecnológicos que aquí se analizan, ocupan un sitio importante pues ambos contribuyen a la *descarbonización* de los sistemas energéticos. Asimismo, al ser fuentes de energía que no dependen del suministro de recursos extranjeros – aunque no es exactamente el caso de la energía nuclear en Japón–, su desarrollo contribuirá a

¹³ En este contexto, la *descarbonización* es la disminución de emisiones de dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero.

propiciar un cambio en el valor geoestratégico de los insumos energéticos. Por lo tanto, los cambios tecnológicos que deriven en la mejora de estos sistemas tecnológicos, impulsarán la competitividad de las industrias e influirán profundamente en ámbitos como el económico y el militar. En este sentido, puede comprenderse cómo la geopolítica de la energía no gira solo en torno a los hidrocarburos, sino que ya es acompañada por el *sol* y el *viento*.

Finalmente, el tercer tema que atiende el PBE2018 es la matriz energética. De manera congruente con los puntos expuestos anteriormente, la mezcla energética objetivo para 2030 incluye el uso de las energías renovables con 24% y el de la energía nuclear con 22%¹⁴ (経済産業省, 2018). Sin embargo, al atender esta propuesta de manera crítica, surgen dos observaciones generales. En primer lugar, en 2017 la producción de electricidad se compuso de mezcla energética que integraba el 16% de energías renovables (tomando un 8% de energía hidroeléctrica), y tomando en cuenta los ritmos de expansión de estas tecnologías, podría argumentarse que el 22-24% para 2030 parece más un límite que una meta. En segundo lugar, para que la energía nuclear alcance el 20-22% de la matriz energética, es necesario revitalizar la industria nuclear para levantarla desde el 3.1% con el que contribuyó en 2017 (tabla 1.4). Más que respaldar el discurso de la política energética –priorizar el uso de las energías renovables y solo mantener el uso de la energía nuclear en tanto disminuye la dependencia a la importación de insumos energéticos–, estos datos parecen más un indicio de la posición prioritaria que le es conferida a la energía nuclear en la política energética.

¹⁴ Porcentajes del suministro de energía eléctrica de Japón.

1.5 NOTAS FINALES

En este breve análisis de los lineamientos de la política energética, se cuestiona la definición de la dependencia energética como un problema estructural; se establecen distintas causas por las que las características de la energía nuclear y de las energías renovables son consideradas como las más apropiadas para abordar los problemas que la propia política energética identifica y; se argumenta sobre la importancia estratégica del desarrollo tecnológico de estos sistemas en el plano internacional. Asimismo, se cuestiona el discurso de la política energética que por una parte coloca la energía nuclear como un elemento del que se debe depender en menor medida, mientras que por otra parte le asigna una proporción similar al de las energías renovables en la mezcla energética y se le califica como indispensable.

También se presentó de manera sucinta la conformación del sistema energético centralizado de Japón, la gestación de su dependencia y otros problemas y limitaciones que le han aquejado. Finalmente, se abordaron tanto el debate que protagonizan las energías renovables y la energía nuclear en Japón, como el inicio de una fase de transición energética hacia un sistema distribuido. En los siguientes capítulos se atienden estos temas de manera más detallada para comprender de mejor manera tanto las características de estos sistemas tecnológicos, como la postura que toma la PEJ en torno a estas fuentes de energía, así como las posibles consecuencias de los cambios tecnológicos.

2.0 LA OPCIÓN NUCLEAR

2.1 DESARROLLO DE LA POLÍTICA E INDUSTRIA NUCLEAR EN JAPÓN

El uso civil –o con fines pacíficos– de la energía nuclear se refiere a la utilización de ciertas sustancias, de tecnología y de ciertos principios de la Física para la generación de energía eléctrica. Esta distinción se hace debido a que esos mismos principios, sustancias y tecnologías pueden emplearse para usos militares –la fabricación de armas nucleares–; por ende, a estas tecnologías de uso dual se les conoce como tecnologías nucleares sensibles (TNS). Por ejemplo, el uranio enriquecido utilizado como combustible nuclear para la generación de energía, y el plutonio, un subproducto de la fisión nuclear del uranio, son ingredientes básicos para la fabricación de armas nucleares. De hecho, el anuncio del descubrimiento de la fisión nuclear del uranio en 1939, y sucesivamente de otros elementos radioactivos, dio rienda suelta a una carrera por desarrollar armas nucleares, en el contexto de la Segunda Guerra Mundial; la aplicación de este conocimiento para la generación de energía vino después (もんじゅ君, 2013). Debido a estas características tecnológicas, las políticas que regulan el uso de la energía nuclear han estado sujetas, desde su nacimiento, a los vaivenes que se presentan en diferentes ámbitos de la política, de las relaciones internacionales y de la propia industria nuclear.

La posibilidad de utilizar abiertamente la energía nuclear se abrió al mundo por iniciativa de Estados Unidos, como fue expresado por el Presidente Eisenhower en su discurso “Átomos por la Paz” frente al pleno de las Naciones Unidas (1953). En el marco de la guerra fría y la carrera tecnológica entre la URSS y Estados Unidos, una de las intenciones de esta propuesta debió ser evitar que otros países desarrollaran y emplearan las TNS con fines militares. Para lograr esto, se construyó una estructura organizacional internacional para difundir el uso con

fines pacíficos de estas tecnologías, y al mismo tiempo, para limitar, controlar y vigilar su uso¹⁵. Además, por otra parte, la transferencia de estas tecnologías abriría importantes oportunidades de negocio para sus poseedores.

En Japón, tanto la política nuclear como la estructura organizacional que la dirige, comenzaron a tomar forma a finales de 1954, con la aprobación del presupuesto para la energía nuclear y con el establecimiento de los fundamentos institucionales que regularían el desarrollo nuclear de Japón bajo la “Ley Básica de la Energía Nuclear”¹⁶ (吉岡, 2011). En este proceso hubo quienes impulsaron la idea de mantener el desarrollo nuclear de Japón bajo el control del Estado, entre quienes destacan políticos como Nakasone Yasuhiro, Fushimi Kōji y Shōriki Matsutarō. Quienes se oponían a estas ideas, temían –con fundamentos sólidos– que estas capacidades tecnológicas fueran a ser utilizadas por el Estado con fines militares, o que se subordinaran a los intereses norteamericanos¹⁷. Entre quienes se oponían a la importación de tecnología extranjera, estaba Yukawa Hideki –el primer premio Nobel de física japonés–. Este científico se pronunciaba a favor de que el proceso de desarrollo tecnológico se asumiera domésticamente, desde las tecnologías básicas, para no depender de tecnologías y relaciones extranjeras en este ámbito estratégico (吉岡, 2011). Finalmente, la oposición no tuvo éxito, y las estructuras de comando respecto a la política nuclear quedaron bajo el control de organismos del Estado y se implementaron los planes para importar las tecnologías necesarias.

¹⁵ Con este propósito se creó el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), vinculado a la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

¹⁶ 原子力基本法 (1955)

¹⁷ El mencionado Shōriki Matsutarō, por ejemplo, según se dio a conocer por investigaciones a posteriori, fue un agente que colaboró con la CIA para promover los intereses de Estados Unidos en ámbitos como los medios de comunicación y la energía nuclear.

Cuando la política nuclear japonesa comenzaba a configurarse, durante la segunda mitad de la década de 1950, surgieron movimientos antinucleares, y a principios de los 1960s las protestas en contra del uso de la energía nuclear coexistieron junto con otros movimientos sociales, protestas estudiantiles, manifestaciones en contra de la renovación del tratado bilateral de seguridad entre Estados Unidos y Japón, entre otros. El movimiento antinuclear fue alimentado, primero, por la toma de conciencia de los efectos de las bombas nucleares lanzadas en Hiroshima y Nagasaki, y también por el incidente del barco atunero *Daifukuryu-Maru*, cuya tripulación fue víctima de la radiación provocada por la explosión de una bomba de hidrógeno (experimento norteamericano) cerca de las islas Marshal en el Océano Pacífico (もんじゅ君, 2013). No obstante, mediante propaganda¹⁸ y otros mecanismos –como subsidios– se difundió una idea más favorable en torno al uso de la energía nuclear.

El arranque de la industria nuclear japonesa fue lento y accidentado. Por una parte, debía competir con los bajos precios del petróleo; por otra parte, la falta de éxito de los primeros proyectos de la industria nuclear japonesa alentó aires de desconfianza en su uso. En este sentido, el primer reactor nuclear de Japón, de tecnología británica, resultó ser económicamente inviable y, la búsqueda de mineral de uranio en territorio nacional no rindió frutos (吉岡, 2011). Sin embargo, el *boom* de construcción de reactores de agua ligera en Estados Unidos atrajo la mirada de la industria japonesa a la tecnología norteamericana y se firmó un nuevo tratado de cooperación entre ambos países¹⁹. Para poder competir con los precios del petróleo, las

¹⁸ Un ejemplo claro es el personaje de caricatura llamado Pluto-kun, utilizado para explicar a audiencias televisivas las ventajas del uso del plutonio y los *malentendidos* sobre sus características. Estos videos aún pueden verse en plataformas digitales.

¹⁹ Desde 1955 se han firmado varios tratados de cooperación para el desarrollo nuclear con fines pacíficos entre Japón y Estados Unidos. Estos tratados incluyen acuerdos para el

compañías General Electric y Westinghouse –fabricantes de reactores nucleares– desarrollaron una estrategia de venta de largo plazo para que los costos de la energía nuclear fueran competitivos con los del petróleo²⁰. Por otra parte, para lidiar con la oposición en las localidades donde se proponía la construcción de plantas nucleares²¹, se utilizaron subsidios como persuasión y muestra de los beneficios que la construcción de instalaciones energéticas traería a las comunidades. En 1974, toda una serie de subsidios quedó legislada bajo el sistema de las 3 leyes de fuentes de energía²² (大島, 原発は安くない, 2011). De esta manera, durante los siguientes años la industria nuclear pudo crecer a un paso aproximado de 2 reactores por año (tabla 2.1), aunque no sin otros contratiempos.

Además de la oposición de grupos civiles, otros problemas que aquejaban a la industria nuclear eran las bajas tasas de operación que mantenía debido a desperfectos y problemas técnicos, y los elevados costos de sus proyectos de investigación. En el plano internacional, el experimento con armas nucleares de la India (1977) significó un golpe a la confianza en el sistema internacional y a las transferencias internacionales de estas tecnologías²³. Derivado de

enriquecimiento de uranio y adquisición de otros servicios por ambas partes. Los años en que se firman estos acuerdos son 1955, 1958, 1968, 1988. El último tratado expiró en 2018, pero al no negociarse nuevas condiciones, este sigue teniendo efecto.

²⁰ El modelo Turnkey en la industria nuclear. Bajo este esquema, el monto de la inversión se prorratea en el total de la energía que la planta nuclear produciría durante su periodo estimado de vida productiva. De esta manera, los elevados montos de inversión necesarios para la construcción de plantas nucleares se difieren en un periodo extendido de tiempo. Como se observa más adelante, en el caso de las plantas nucleares japonesas, este periodo es de 40 años con un factor de uso del 80%.

²¹ El problema llamado NIMBY (not in my back yard).

²² 電源3法. Estas leyes son: (1) 電源開発促進税法. (2) 特別会計に関する法律. (3) 発電用施設周辺地域整備法.

²³ India importaba tecnología nuclear de Estados Unidos y Canadá para usos civiles. No obstante, del combustible nuclear exhausto que se producía en estos reactores nucleares, se extrajo el plutonio residual y logró desarrollar armas nucleares.

esta situación, Estados Unidos detuvo sus proyectos relacionados con el *ciclo de combustible* y con el uso de plutonio como combustible nuclear, y presionó a otros países para tomar medidas similares (もんじゅ君, 2013). En este marco, la relación entre Estados Unidos y Japón sufrió por la posesión y extracción de plutonio en la planta experimental de reprocesamiento de combustible nuclear exhausto de Tōkai; pero en el otro lado de la balanza estaba el *sueño tecnológico de Japón*, que se sustentaba en el uso de plutonio para librarse de su dependencia energética en el exterior. Por ende, no obstante las presiones externas, la carga financiera y los problemas técnicos, en Japón no se detuvieron los proyectos en torno al reprocesamiento de combustible nuclear exhausto ni la acumulación de plutonio para utilizarlo como combustible nuclear (もんじゅ君, 2013).

Más adelante, los desastres nucleares de Three Mile Island (1979) y de Chernóbil (1986) significaron severos reveses para la industria nuclear internacional. En Europa, la industria nuclear se detuvo y muchos países definieron encaminarse hacia la reducción de sus capacidades nucleares y dejar de lado proyectos de *ciclo de combustible* y del uso de plutonio como combustible nuclear (吉岡, 2011). En contraste, en Japón no se observaron con alarma estos acontecimientos –en parte por la creencia en la superioridad tecnológica de Japón, derivada de una ideología *tecnonacionalista* profundamente arraigada (Samuels, Rich Nation, Strong Army, 1994)– y la industria nuclear siguió creciendo hasta 1997, cuando contaba con 45GW en 52 reactores. Entre tanto, una serie de accidentes –como el incendio en la planta de Monju por una fuga de sodio líquido (1995), o la explosión en la planta de reprocesamiento de combustible nuclear de Tōkai (1997)– y el oscuro manejo de la información relacionada a estos acontecimientos y a otros aspectos de la industria, minaron la confianza de la población en el sistema. Para contrarrestar esta situación, durante la administración del Primer Ministro

Hashimoto Ryūtarō, se elaboró el plan de una reforma estructural del sistema administrativo bajo la ley básica de reforma de la administración central²⁴ (吉岡, 2011).

A pesar de esta problemática, en la década de 1990, la principal fuente de preocupación para la industria nuclear –y para el sector energético en general– provino de las presiones externas que propugnaban la liberalización de distintos sectores de la economía japonesa, entre los que figuraba el sector energético. La *amenaza* de la liberalización puso en realce algunas de las desventajas que tendría la industria nuclear en un esquema de libre mercado. En primer lugar, los altos montos de inversión necesarios para la construcción de nuevos reactores nucleares, aunados a los riesgos relacionados, harían de la energía nuclear una fuente poco competitiva. Ante esta situación, se plantearon contramedidas para extender lo más posible la vida de los reactores nucleares existentes y sustituirlos por generación termoeléctrica al término de su vida operacional. En segundo lugar, se propuso la eliminación de los proyectos de investigación más costosos, como los relacionados al ciclo de combustible, con lo que también se recortarían costos relacionados al manejo y disposición de desechos radiactivos (吉岡, 2011). De haberse puesto en marcha estas medidas, al cabo de unas décadas la industria nuclear japonesa habría desaparecido, sin embargo, precisamente con esto como principal argumento, la liberalización del sector fue detenida y la industria nuclear protegida. En 2002 se reformó la ley básica de energía²⁵ y bajo ésta, la Comisión de Energía Nuclear del Gabinete²⁶ replanteó la

²⁴ 中央省庁等改革基本法.

²⁵ エネルギー政策基本法

²⁶ 内閣府原子力委員会

política nuclear²⁷ en 2005, y un año más tarde, una junta del METI²⁸ estableció el Plan Nacional de Energía Nuclear²⁹ (吉岡, 2011). Estas políticas reafirmaron la presencia de la mano del Estado en el desarrollo de la industria nuclear, y colocaron al METI como la entidad más importante para la toma de decisiones.

En julio de 2007, tras el terremoto de *Chūetsuoki*³⁰, ocurrió otro *accidente* en instalaciones nucleares, ahora en la planta *Kashiwasaki-Kariwa* de TEPCO, ubicada en la prefectura de Niigata. Los 7 reactores de la planta fueron apagados y se dictaminó que requerían reforzamiento antisísmico para poder operar³¹; esta situación provocó una caída en la productividad de la industria nuclear, con tasas de operación inferiores al 60% (吉岡, 2011). A pesar de estas dificultades y del histórico cambio de administración en 2009³², la política nuclear no fue alterada. Más aún, en 2010 se estableció una estrategia de crecimiento económico basada en planes de exportación de paquetes completos de infraestructura, con la energía nuclear como pieza clave (吉岡, 2011), lo que por mera congruencia debiera implicar el mantenimiento de una industria nuclear nacional activa. Sin embargo, el desastre nuclear nivel 7 de la planta de TEPCO, en Fukushima, afectó una vez más la confianza en la industria nuclear dentro y fuera de Japón. Por si fuera poco, los montos de inversión necesarios para construir

²⁷ 原子力政策大綱

²⁸ 経済産業省総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会

²⁹ 原子力立国計画

³⁰ Terremoto de 6.8 grados Richter, detectado el 16 de julio de 2007 a pocos kilómetros de las costas de Niigata en el Mar de Japón.

³¹ Los reactores 2, 3 y 4 continúan parados desde entonces, y los restantes fueron apagados otra vez después del desastre en Fukushima (tabla 2.1).

³² La llegada al poder del Partido Democrático Japonés (PDJ), después de un periodo casi ininterrumpido de décadas en el que había gobernado el Partido Liberal Demócrata (PLD).

nuevos reactores nucleares se han ido incrementando por las nuevas regulaciones en materia de seguridad, y la competitividad de la industria ha ido en declive. A partir de estas condiciones muchos *negocios* nucleares en distintas partes del mundo se han detenido o cancelado, y el uso de la energía nuclear se ha vuelto *inconveniente* en muchos casos³³.

Poco después del desastre nuclear de Fukushima, todos los reactores nucleares de Japón fueron apagados y nuevas reglas de seguridad establecidas. También se implementó una política de “cero plantas nucleares³⁴” por parte del gabinete del a sazón Primer Ministro, Naoto Kan, con el fin de erradicar el uso de la energía nuclear en Japón. Sin embargo, esta política no duró mucho tiempo; las instituciones burocráticas e industriales que han nutrido y soportado la política nuclear lograron nuevamente hacer a un lado los obstáculos impuestos al desarrollo de esta industria.

Al día de hoy, 9 reactores han sido reiniciados –aunque 2 fueron apagados nuevamente–, mientras otros están en revisión o en proceso de desmantelamiento. Mas incluso aquellos que han reiniciado operaciones enfrentan la posibilidad de ser parados nuevamente, en esta ocasión, una de las amenazas más evidentes es la improbabilidad de terminar en tiempo y forma las obras civiles con propósitos antiterroristas que se comprometieron a terminar. Todas las empresas han declarado que necesitarán 5 años más del límite definido para terminarlas, y la autoridad reguladora, al momento, no ha concedido prorrogas (川田, 2019). Si esta situación

³³ Un ejemplo es el caso de la planta Hinkley Point C en Inglaterra. Los costos de la construcción de la planta nuclear con dos reactores se elevaron más allá de lo presupuestado, y debido a la liberalización del mercado energético, sus costos ya no son competitivos. Para afrontar esta situación se empleará un sistema de subsidios para la planta llamado Contracts for Difference (大島, 分散型エネルギーシステムへのパラダイムシフト, 2016).

³⁴ ゼロ原発

continúa de esta manera, los reactores reiniciados tendrán que parar en 2020. Otra amenaza grave para esta industria es el reciente anuncio de TEPCO sobre la imposibilidad prevista para 2022, de seguir almacenando agua procesada –y probablemente aún contaminada– de la planta de Fukushima daiichi, y tener que descargarla al mar (日本経済新聞, 2019).

Por otra parte, entre 2016 y 2020 habrán estado entrando en vigor varias reformas para liberalizar el mercado energético y separar la generación de la transmisión y la distribución de energía. Estas medidas serán un golpe al esquema de desarrollo de la industria nuclear y al modelo que ha fomentado su crecimiento, i.e., el sistema energético centralizado. Mas por contradictorio que pudiera parecer, a pesar de los problemas, de los riesgos, de los costos que ha implicado la industria nuclear a Japón y en especial, a pesar de la catástrofe nuclear de Fukushima y sus consecuencias, la política energética califica la energía nuclear como económica, segura y limpia, y por ende, indispensable para alcanzar sus objetivos.

2.2 LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL SISTEMA NUCLEOELÉCTRICO JAPONÉS

La estructura organizacional del sistema nucleoelectrico japonés tomó forma al final de la década de 1950s y fue conformada esencialmente por dos elementos. El primero es la parte operativa compuesta por dos grupos, uno orientado a la producción comercial de energía y otro, a la investigación y desarrollo de tecnología; el segundo elemento es la parte regulatoria, compuesta por un esquema cooperativista de entidades gubernamentales del más alto nivel cuya labor ha sido la formulación de la política nuclear y la planificación integral del sistema nucleoelectrico (吉岡, 2011). La configuración de estos elementos permitió concentrar el poder de la toma de decisiones en unos cuantos grupos de burócratas e industriales, y afianzó el desarrollo de un sistema centralizado de energía. La reforma administrativa de 2001 transformó

muchos aspectos del marco administrativo institucional, pero no alteró su esencia. Para comprender las transformaciones y el funcionamiento de estas estructuras, así como las implicaciones que resultan del propio diseño institucional, es necesario analizar sus componentes.

2.2.1 ELEMENTOS OPERATIVOS DE LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

El primer grupo de la parte operativa (G1) se dedica al uso comercial de tecnologías nucleares y lo conforman los siguientes actores: el MITI³⁵ y su Agencia de Recursos Naturales y Energía³⁶; la compañía estatal: Compañía de Desarrollo de Fuentes de Energía (J-Power)³⁷; las 9 compañías regionales de luz, conocidas como *Kyū-den*, y las que funcionan bajo su *brazo*: Japan Atomic Power Company y Japan Nuclear Fuel Limited (tabla 1.3); los fabricantes de equipamiento³⁸ y; las instituciones financieras del gobierno relacionadas con los proyectos de esta industria: el Banco de Desarrollo de Japón y el Banco de Exportaciones e Importaciones de Japón (吉岡, 2011).

El MITI fue la institución que encabezó el desarrollo industrial de Japón en la posguerra, con el respaldo del Ministerio de Finanzas y el Banco de Japón, principalmente (Johnson, 1982). Bajo las directrices del MITI, el sector industrial y financiero se organizó en grupos llamados *keiretsu*³⁹. El desarrollo de la industria nuclear siguió esta fórmula, y se agrupó en dos *keiretsu*, uno con TEPCO, Toshiba y Hitachi a la cabeza y otro con KEPCO y Mitsubishi Heavy al frente.

³⁵ 通産省 – a partir del año 2001 se convierte en el 経済産業省 (METI)

³⁶ 資源エネルギー庁

³⁷ 電源開発株式会社 – dependiente directa del MITI

³⁸ Los tres principales son: Toshiba, Hitachi y Mitsubishi Heavy.

³⁹ 系列.

Al igual que en otros sectores industriales, las estructuras organizacionales que integran este modelo (keiretsu), son evidencia de una interdependencia entre la industria y la burocracia. La construcción y operación del sistema nucleoelectrico ha sido responsabilidad de estos grupos y la estrategia que adoptaron, bajo el liderazgo del MITI, fue similar a la que esta institución eligió con respecto al desarrollo de otras industrias; i.e., nacionalización, difusión y fortalecimiento de tecnologías (Samuels, Rich Nation, Strong Army, 1994).

Con la importación de reactores de agua ligera de empresas estadounidenses y la industria nuclear creció rápidamente entre las décadas de 1970 y 1990. Algunos servicios también se consignaron al extranjero, como el enriquecimiento de uranio (EUA) y el reprocesamiento de combustible nuclear exhausto (Francia e Inglaterra). La implementación de la estrategia del MITI y la construcción de este sistema industrial no estuvieron exentas de problemas –algunos descritos en la sección anterior–, pero la estrategia rindió algunos frutos, y para el año de 2010 la energía nuclear contribuía con el 30% de la generación eléctrica nacional. Además, mediante la nacionalización de tecnología, la industria nuclear comercial alcanzó una autonomía tecnológica superior al 99%. No obstante estos logros, esta industria no se ha librado de la dependencia en otros países, pues se mantienen tratados que obligan a las industrias japonesas a adquirir productos y servicios de proveedores extranjeros (吉岡, 2011). En consecuencia, es posible argumentar que la industria nuclear japonesa en realidad nunca ha sido independiente; muy a pesar de que posee la tecnología para operar de manera casi autónoma; además, no cuenta con algunos de los recursos naturales necesarios (uranio) y está atada por contratos y tratados que la obligan a depender de terceros.

Las 9 compañías de electricidad (Kyū-den) que, por otra parte, poseen y operan los reactores nucleares comerciales en Japón, han existido bajo un esquema de monopolios regionales en el que no solo la energía nuclear, sino la producción, transmisión y distribución de la energía eléctrica del país ha sido administrada por estas empresas de manera exclusiva. Durante décadas estas compañías no tuvieron competidores reales y controlaron el mercado nacional de energía eléctrica, y esta condición no habría comenzado a cambiar sin la liberalización del mercado minorista (2016). En torno al uso de la energía nuclear, estas compañías se alinearon en uno de los *keiretsu* que se mencionaron anteriormente⁴⁰.

El segundo grupo de la parte operativa (G2) –dedicado a la investigación y desarrollo (I&D) de tecnología– estuvo encabezado primero por la Agencia de Ciencia y Tecnología (AC&T) y a partir de la reforma de finales del siglo XX, por el MEXT⁴¹. El principal objetivo de este grupo ha sido el desarrollo de tecnologías hasta su fase de comercialización y la transferencia de estas tecnologías al grupo operativo (G1) (吉岡, 2011). La AC&T estaba conformada por dos áreas jurisdiccionales: una, integrada por el Instituto de Investigación de Energía Atómica de Japón (Genken)⁴² y por la Corporación de Desarrollo del Reactor de

⁴⁰ Con TEPCO se alinean Tōhoku-Den, Hokuriki-Den, Chūbu-Den y Chūgoku-Den. Con Kansai-Denryoku se alinean Hokusai-Den, Yon-den y Kyū-Den.

⁴¹ 科学技術庁. Que en 2001 se vuelve parte del Ministerio de Educación (文部省) y se convierte en el Ministerio de Educación, Cultura, Deporte y Ciencia y Tecnología (文部科学省).

⁴² 日本原子力研究所.

Potencia y de Combustible Nuclear (Dōnen)⁴³; y otra, por el Instituto de Investigaciones Físicas y Químicas (Riken)⁴⁴ y por el Instituto Nacional de Ciencias Radiológicas (INCR)⁴⁵ (吉岡, 2011).

El Genken perdió importancia en el desarrollo de tecnologías nucleares de generación de energía a partir del establecimiento del Dōnen en 1967, y se pusieron a cargo de éste último los 4 proyectos clave⁴⁶ de I&D de la industria nuclear: (1) Termo-Reactores Avanzados (TRA)⁴⁷; (2) Reactores de Reproducción Rápida (RRR)⁴⁸; (3) Reprocesamiento de combustible nuclear exhausto, mediante la introducción de tecnología francesa y con la construcción de la planta de reprocesamiento de Tōkai⁴⁹ y; (4) el enriquecimiento de uranio, con la construcción de múltiples plantas piloto en la prefectura de Okayama (吉岡, 2011).

A pesar de los esfuerzos y recursos invertidos en estos proyectos, prácticamente ninguno terminó exitosamente, pues no lograron alcanzar la fase de comercialización por falta de factibilidad económica (吉岡, 2011). El primero (TRA) fue desechado en 1995 y el segundo (RRR) en 2016; los otros dos han puesto sus expectativas en la planta de Rokkasho, que desde hace más de una década se posponen sus fechas de apertura por cuestiones técnicas. Por otra parte, además del incendio de Monju (RRR) y de la explosión en la planta de reprocesamiento de Tōkai, malos manejos de la información de estos sucesos y la falta de transparencia en los

⁴³ 動力炉・核燃料開発企業団.

⁴⁴ 理化学研究所.

⁴⁵ 放射線医学総合研究所.

⁴⁶ Además, hubo otros proyectos subalternos como el barco de propulsión nuclear y la investigación sobre fusión nuclear (Yoshioka, 2011).

⁴⁷ 新型転換炉.

⁴⁸ 高速増殖炉. El reactor Monju es la materialización de este proyecto.

⁴⁹ 東海再処理工場.

procesos de este grupo socavaron la confianza de la sociedad civil en la energía nuclear. Para tratar de revertir esta situación se implementaron algunos cambios, entre los que destacan la integración de la AC&T al MEXT, la transformación del Dōnen en el Instituto Japonés de Desarrollo del Ciclo Nuclear (JNC por sus siglas en Inglés)⁵⁰ en 1998 y su posterior fusión con el Genken (2005) para dar lugar a la actual Agencia de Energía Atómica de Japón (AEAJ)⁵¹ (吉岡, 2011).

El camino por el que ha transitado la I&D de tecnologías nucleares en Japón pone en evidencia por lo menos dos cuestiones importantes: primero, el diseño de la estructura institucional establecida desde 1956 con la fundación de la AC&T, tiene una forma tal que le hace carecer de motivos para cumplir con sus objetivos últimos –la transferencia de tecnología al G1–, más allá del orgullo y la autocomplacencia presentes en la ideología tecnonacionalista de Japón. En todo caso, transferir los desarrollos tecnológicos al MITI y a la industria energética beneficiaría más a éstos, que sí podrían obtener un provecho comercial de estas tecnologías (吉岡, 2011). Segundo, la naturaleza de los proyectos de investigación de estas instituciones no tenía una relación directa con las tecnologías que se implementaban en el sector comercial, como los reactores de agua ligera –por ejemplo–, más bien obedecían al llamado *sueño tecnológico*, que libraría a Japón de la dependencia energética en el extranjero.

Finalmente, hay que apuntar que en este esquema, la academia no ha funcionado como un elemento monolítico aparte ni como contrapeso, sino que distintos sectores de la academia se han involucrado en uno u otro de estos grupos que conforman el sistema operativo de la

⁵⁰ 核燃料サイクル開発機構.

⁵¹ 日本原子力研究開発機構.

industria nuclear. La llamada *aldea nuclear*⁵², es un agregado de instituciones burocráticas, industriales y educativas que tienen amplios intereses en el desarrollo y subsistencia de la industria nuclear en Japón.

2.2.2 TEPCO

Una de las 9 compañías regionales de electricidad que conforman el Kyū-den es Tokio Electric Power Company (TEPCO). Esta compañía procura la generación, transmisión y distribución de energía en el área de Kantō desde su fundación en 1951 (tabla 1.3). Es una de las compañías de energía más grandes del mundo y posee diversas plantas de generación de energía eléctrica: plantas termoeléctricas, hidroeléctricas y nucleares, principalmente. Al igual que el resto de las compañías del Kyū-den, esta compañía fue fundada durante el periodo de la ocupación norteamericana, y su estructura fue diseñada de manera similar a las compañías norteamericanas, como una empresa privada, esencialmente. El principal objetivo de esta compañía era proporcionar los recursos energéticos necesarios para la recuperación del área de Kantō.

La compañía creció rápidamente, paralelamente con el acelerado desarrollo de la economía japonesa y por su tamaño es por mucho la mayor del Kyū-den. La planta nuclear No. 1 de Fukushima pertenece a TEPCO, y la construyó en conjunto con General Electric y Toshiba, entre otros proveedores. Actualmente el combustible nuclear derretido permanece en el lecho de los reactores, como una amenaza constante a la seguridad de la región. Sin duda, éste es el reto más grande que enfrenta esta compañía, de una larga lista de problemas derivados del

52 原子力村 (tabla 2.2)

desastre nuclear de 2011. Además de esta planta nuclear, también cuenta con la planta No. 2 de Fukushima y la planta de Kashiwasaki-Kariwa, en la provincia de Niigata (tabla 1.3).

Al igual que otras compañías del Kyū-den, TEPCO ha estado involucrada en múltiples escándalos de corrupción con respecto a su operación y al funcionamiento de sus instalaciones. Según reportes del gobierno, que fueron admitidos por la compañía, entre 1977 y 2002, TEPCO falseó y ocultó información durante inspecciones de rutina sobre incidentes y problemas en instalaciones nucleares (CNIC, 2015). En 2002, varios funcionarios de alto nivel renunciaron y se detuvieron los reactores nucleares de la compañía durante casi 3 años para ser inspeccionados; no obstante, en 2007 se dieron a conocer más casos graves de ocultamiento de información sobre problemas técnicos y *accidentes*. A pesar de esta situación, nunca se deslindaron responsabilidades y no se castigaron las malas prácticas, más allá de separar a funcionarios de sus cargos.

El comienzo de la descomposición al interior de la compañía, se puede observar a partir del fortalecimiento de la relación entre TEPCO con el sector público; en especial, a partir de la toma de la presidencia de TEPCO por parte de Hiraiwa Gaishi [佐高, 2011]. Estrechar su relación con la política y la burocracia le permitió a TEPCO –al igual que otras compañías del Kyū-den– manejarse fuera de los márgenes de la legalidad en muchas ocasiones. Muchos de sus empleados aprovecharon el contubernio con las autoridades para enriquecerse y ocupar puestos importantes. Por ejemplo, Hiraiwa Gaishi no solo fue presidente de TEPCO sino también de la junta del consejo administrativo de TEPCO y posteriormente fue presidente del Keidanren. Si bien esto pudiera parecer solo la carrera de un empleado exitoso, es llamativo el hecho que en 2007 recibió una condecoración por parte del gobierno japonés [佐高, 2011]. Este

acontecimiento fue muy criticado pues esta condecoración es normalmente otorgada a funcionarios públicos, no a personas del sector privado; más aún, cuando en 2002 Hiraiwa tuvo que renunciar a su puesto en TEPCO por el mencionado escándalo de corrupción.

Para muchos, puede parecer sorprendente enterarse de escándalos de corrupción y de desperfectos en el seno de alguna empresa japonesa. Si bien los productos e industrias japonesas son conocidos en el mundo por su buena calidad y reputación, el caso de la industria nuclear ha sido uno que recurrentemente está en la atención del público por fallas y escándalos. El ejemplo más reciente de escándalo de corrupción es el caso de altos mandos de KEPCO, otra compañía del Kyū-den. Este caso involucra a altos ejecutivos de KEPCO que recibieron dinero por parte de un consejero de la empresa que construyó la planta nuclear de Takahama, en la provincia de Fukui –a cambio de información sobre el proyecto– (NHK, 2019).

El accidente nuclear de Fukushima, por otra parte, se presentó en las instalaciones de TEPCO⁵³, y desde entonces han salido a la luz muchas de las fallas institucionales que provocaron, en última instancia, el desastre nuclear y múltiples daños a terceros. Uno de los casos que se comentan actualmente, es la omisión de un reporte emitido en 2008 sobre los riesgos de tsunami en el área y las medidas que debían de tomarse; la acusación es por la muerte de 44 personas que tuvieron que ser evacuadas de un hospital ubicado dentro del rango de evacuación. Los responsables de implementar las medidas de seguridad recomendadas – Katsumata Tsunehisa (expresidente), Takekuro Ichirō (exvicepresidente) y Mutō Sakae (exvicepresidente)–, fueron absueltos por la suprema corte de Tokio (fallo del 19 de septiembre

⁵³ Con explosiones en los reactores 1, 3 y 4 y derretimiento en los reactores 1, 2, 3 y 4, en la planta No. 1 de Fukushima.

de 2019) (毎日新聞, 2019). Hasta el momento no se han adjudicado responsabilidades a ningún empleado de TEPCO o funcionario de gobierno. Esta situación revela el grado de impunidad que existe. La gravedad de esta situación, además del hecho en sí mismo, es que mientras no se castigue a los responsables, no se sentarán precedentes para que se asuman responsabilidades en la toma de decisiones en materia de seguridad nuclear. Ante la escala del problema que enfrenta TEPCO en Fukushima, es importante que las decisiones se tomen teniendo en cuenta no solo los factores económicos que afectan a la compañía o a los intereses personales de funcionarios y al gobierno, sino también las consideraciones necesarias para proteger a las víctimas y al medio ambiente.

2.2.3 ELEMENTOS REGULADORES DE LA POLÍTICA NUCLEAR

Las instituciones que dirigieron el diseño de la política nuclear desde los 1950s y hasta el año 2001, de manera jerárquica se alinean así: (1) la Comisión Reguladora del Desarrollo de Fuentes de Energía⁵⁴, encabezada por el Primer Ministro; (2) la Comisión de Energía Nuclear⁵⁵, con el Ministro de Estado como jefe de la junta y; (3) la Comisión de Investigación de Energía⁵⁶, encabezada por el Ministro del MITI (吉岡, 2011). Nótese que las dos primeras comisiones dependen directamente del Gabinete del Primer Ministro y la tercera del Ministerio de Industria y Comercio Internacional; ningún otro agente interviene en la elaboración, dictamen, o aprobación de la política nuclear japonesa. Las reformas que entraron en vigor en enero de

⁵⁴ 電源開発調整審議会

⁵⁵ 原子力委員会

⁵⁶ 総合エネルギー調査会

2001, como se observa más adelante, modificaron esta estructura, pero no alteraron la esencia del diseño institucional original.

La Comisión de Energía Nuclear fue el elemento central en el diseño de la política nuclear, sus decisiones debían ser acatadas formalmente por el Primer Ministro y estaba facultada para *aconsejar* a los distintos ministerios utilizando la figura del Primer Ministro (吉岡, 2011). Esta Comisión plasmaba la política nuclear en un documento titulado: Plan de Largo Plazo del Desarrollo de la Energía Nuclear (*chōkei*)⁵⁷. El primer *chōkei* fue publicado en 1956 y se hicieron 8 revisiones hasta el año 2000. El proceso de revisión de este documento tomaba de 1 a 2 años y era llevado a cabo por una junta de expertos⁵⁸ asignados por la propia Comisión de Energía Nuclear y el resultado de este proceso se convertía automáticamente en política pública (吉岡, 2011). El director de la AC&T era miembro de esta Comisión, por lo que esta agencia ejercía una poderosa influencia en el diseño de la política nuclear. No obstante, cualquier decisión de la AC&T debía estar en sintonía con las estrategias de su contraparte, el MITI y los industriales, por lo que siempre era necesario llegar a consensos (吉岡, 2011). Por lo tanto, la relación de la burocracia con la industria era –y aún es– la pieza calve en el proceso de toma de decisiones en torno a la política nuclear.

La Comisión Reguladora del Desarrollo De Fuentes de Energía era el órgano con mayor jerarquía en esta estructura tripartita, aunque sus funciones se limitaban a la aprobación de proyectos de plantas nucleares y las decisiones tomadas por la Comisión de Energía Nuclear las plasmaba en otro documento oficial titulado: Plan Básico de Desarrollo de Fuentes de

⁵⁷ 原子力開発利用長期計画(長計).

⁵⁸ 長期計画専門部会.

Energía⁵⁹ (吉岡, 2011). El papel de la Comisión de Investigación de Energía no era tan relevante como el de las otras dos en cuanto a la toma de decisiones de la política nuclear, pues sólo estaba facultada para emitir su opinión; no obstante, sus planes energéticos de largo plazo incluían proyecciones de la proporción de energía nuclear en la mezcla energética y éstos, al ser aprobados por el Gabinete, se convertían en ley (吉岡, 2011). Con la reforma a la ley básica de política energética⁶⁰ en 2002, el METI adquirió la facultad para definir los Planes Básicos de Energía⁶¹, y estos ahora tienen la misma autoridad –o mayor– que la Política Nuclear Fundamental –antes *chōkei*⁶²– que emite la Comisión de Energía Nuclear (吉岡, 2011). Consiguientemente, el METI se convirtió en la institución con mayor autoridad para definir la política energética japonesa; y a la par de la Comisión de Energía Nuclear para definir la política nuclear.

Las instituciones que regulan la política nuclear de Japón se conforman en una coalición de órganos burocráticos e industriales⁶³ y se integran en un esquema cooperativista que tiene las facultades para definir la política nuclear de manera prácticamente autónoma (吉岡, 2011). Este esquema reduce al mínimo la posibilidad de intervenir en estos asuntos a otros poderes o agentes, ya políticos o de la sociedad civil; de tal manera que ni siquiera han sido relevantes los resultados de elecciones políticas o la mayoría de uno u otro partido en las Cámaras de Representantes. Para poder ingerir de manera significativa en el diseño de estas políticas, es

⁵⁹ 電源開発基本計画.

⁶⁰ エネルギー政策基本法.

⁶¹ エネルギー基本計画. (2003-2007-2010-2014-2018).

⁶² El *chōkei* (長計), se convierte en la Política Nuclear Fundamental (原子力政策大綱) a partir del 2002.

⁶³ 官産複合体

necesario modificar las estructuras organizacionales que controlan el diseño de las políticas; o modificar el diseño institucional de la toma de decisiones para que otros actores, como la cámara de representantes, por ejemplo, pueda influir en la toma de decisiones; o en su caso, el fortalecimiento de los poderes fácticos en Japón. Debido al diseño institucional que ha operado, es posible tratar el sistema energético japonés como uno altamente centralizado, desde sus estructuras organizacionales y la toma de decisiones hasta su configuración física (plantas de generación y redes de transmisión). Si se plantea como una imagen, puede describirse como un flujo de decisiones y de energía que emana desde un centro –o centros– hacia la periferia; es decir, por un lado, está la producción de energía concentrada en monopolios y después se distribuye la energía en el mercado, y por otro, la toma de decisiones concentrada en unos cuantos organismos y aplicada a todas las regiones y localidades del país. En este sentido, es posible entender la industria nuclear como un régimen que se auto regula. A lo largo de su historia, han sido pocos los elementos o acontecimientos que han tenido la capacidad de hacer tambalear al régimen, entre los que se encuentran las presiones externas por la liberalización del sector energético o el desastre nuclear en Fukushima.

La forma que toman estas estructuras organizacionales no sólo refleja las pautas que siguen las políticas, también da cuenta de prácticas de un pasado que no perece, en el que muchas de las decisiones han sido tomadas por consensos de las élites –burocráticas, políticas e industriales– y a la población se le solicita comprensión, cooperación y sacrificio⁶⁴. Otro elemento con la capacidad de tomar decisiones con respecto a la industria nuclear es la Autoridad Reguladora de la Energía Nuclear (NRA). Este organismo fue establecido en 2012,

⁶⁴ Prácticas que rememoran a los implementados bajo la ley de movilización nacional (国家総動員法), con el Estado en control de los recursos humanos del país.

como sucesor de la Comisión de Seguridad Nuclear (NSC) y de la Agencia de Seguridad Industrial y Nuclear (NISA). La creación de este nuevo elemento obedece principalmente a los conflictos de interés que se presentaron al depender NSC del Gabinete del Primer Ministro y NISA del METI. Ahora, NRA depende del Ministerio de Medio Ambiente. Este cambio ayuda a evitar conflictos de interés al interior de las estructuras organizacionales que regulan y operan la industria nuclear, aunque no necesariamente los elimina por completo.

2.3 LA ESTRUCTURA FÍSICA DEL SISTEMA NUCLEOELÉCTRICO

Un reactor nuclear promedio en Japón tiene una potencia aproximada de 1,000MW (1GW). Para ponerlo en perspectiva, un generador eólico de última generación (2019), fuera de la costa (off-shore), puede tener una potencia máxima de 12MW⁶⁵; un techo con 50m² de paneles solares puede producir en condiciones ideales (1,000W/m² y 20% de eficiencia) 0.01MW; las plantas termoeléctricas (que utilizan combustibles fósiles) varían su capacidad dependiendo su tamaño, y pueden ser tan grandes –o más– que un reactor nuclear.

En 2010 había una capacidad instalada de 40 GW que producía cerca del 30% del consumo eléctrico nacional. Sin embargo, después del desastre nuclear de Fukushima, eventualmente todos los reactores nucleares fueron detenidos para inspeccionar sus condiciones de seguridad, y sólo unos cuantos han logrado aprobar las inspecciones.

En esta sección se da cuenta de los reactores nucleares que han operado en Japón y algunas de sus características principales. También se aborda el tema de la planta de Rokkasho,

⁶⁵ El modelo más poderoso de General Electric en 2019.

pieza fundamental para poder seguir manteniendo el ciclo de combustible, y por ende, el modelo de operación de la industria nuclear japonesa.

2.3.1 REACTORES NUCLEARES

Como se observa en la tabla 2.1, el primer reactor nuclear en Japón fue instalado en 1966, se trata de un reactor Calder Hall, de tecnología inglesa y cuyas características finalmente no satisficieron los objetivos establecidos, por lo que fue el único de este tipo que se instaló en Japón y en 1998 fue retirado del servicio. Con excepción de este, todos los reactores nucleares japoneses serían de agua a presión o de agua hirviendo⁶⁶; de tecnología norteamericana. Los integrantes del *keiretsu* encabezado por TEPCO utilizan reactores de agua hirviendo, mientras que los del lado de KEPCO son de agua a presión.

En la década de 1970 se construyeron 20 reactores nucleares. Actualmente, todos estos reactores –excepto 4– están esperando ser desmantelados o están en proceso de desmantelamiento. Los 4 restantes han sido aprobados para reiniciar operaciones, pero aún no tiene fecha de reinicio⁶⁷. Los 6 reactores de la planta número 1 de Fukushima, donde aconteció el desastre nuclear en 2011, fueron construidos en esta década. De los 20 reactores, sólo 6 han sobrevivido o tendrán la posibilidad de sobrevivir por más de 40 años.

En la década de 1980 se construyeron 16 reactores en total, de los cuales, 5 están en posibilidad de reiniciar operaciones, si aprueban las revisiones bajo las nuevas reglas de seguridad, y 4 se encuentran operando⁶⁸. No obstante, estos 4 reactores que actualmente

⁶⁶ PWR (Presurized Water Reactor) y BWR (Boiling Water Reactor). Por sus siglas en inglés.

⁶⁷ Tōkai 2, Mihama 3 y Takahama 1 y 2

⁶⁸ Takahama 3 y 4 y Kawauchi 1 y 2

operan, tienen más de 35 años y pronto deberán pasar nuevas revisiones por cumplir 40 años de vida para tramitar una extensión de 20 años más. En la década de 1990, se construyeron 15 reactores. De este total, 10 se encuentran en revisión o aún no la tramitan, entre estos, están los reactores de la planta de Kashiwasaki-kariwa (no. 2, 3 y 4), que fueron detenidos entre 2007 y 2008, por fallas después del terremoto de Niigata de 2007. Los 5 reactores restantes han sido aprobados y reactivados, pero el Genkai 3 y el Ōi 4, fueron detenidos después de su reinicio. Finalmente, entre 2002 y 2009 se construyeron 5 reactores, y los 5 están detenidos, en revisión para reinicio o aún no solicitan dicha revisión. Actualmente hay 7 reactores en fase de construcción o en fases previas, ubicados en las provincias de Aomori, Shimane y Yamaguchi.

De los 57 reactores nucleares que hasta ahora han operado en Japón, 24 ya han sido desmantelados o están en fase de desmantelamiento, y de estos, solo 4 alcanzaron 40 años de edad⁶⁹. De los 33 reactores que tienen la posibilidad de continuar operando, 15 han recibido aprobación para reiniciar operaciones, aunque actualmente solo 7 están operando; los 18 restantes están en revisión o aún no solicitan la inspección para verificar sus condiciones de seguridad bajo las nuevas reglamentaciones. Los reactores que están en fases de planeación o construcción también han visto retrasos en sus calendarios de ejecución, lo que contribuye a que la industria envejezca rápidamente.

Una pieza de infraestructura indispensable y de la cual adolece la industria nuclear japonesa es un sitio de disposición final de desechos radiactivos. Esta carencia ha sido remendada con el uso de almacenes provisionales dentro de las instalaciones de las plantas nucleares. Estas instalaciones son diseñadas para mantener bajo control las condiciones de

⁶⁹ Fukushima Daiichi 1, Mihama 1 y 2, y Shimane 1.

seguridad que el material radiactivo requiere mientras que es canalizado a un sitio de disposición final; sin embargo, en Japón se mantienen dichos desechos en estos almacenes, incrementando el riesgo potencial de un desastre. Una de las premisas que ha funcionado como válvula de alivio para esta condición, es la posibilidad de concretar el ciclo de combustible –en la planta de Rokkasho–, lo que permitiría reutilizar el combustible nuclear exhausto y mantenerlo en *circulación* por más tiempo. No obstante, este proceso abre otra cadena de problemas y no elimina la necesidad de un sitio de disposición final de desechos altamente radiactivos.

2.2.2 ROKKASHO

La planta de Rokkasho se encuentra en construcción y se ubica en Rokkasho-mura, en la península de Shimokita, al norte de la provincia de Aomori. Sus instalaciones darán cabida a 4 funciones: enriquecimiento de uranio, almacenamiento de residuos nucleares de bajo nivel radioactivo, almacenamiento de residuos nucleares de alto nivel radioactivo y procesamiento de combustible nuclear exhausto. En particular, esta última función es esencial para el ciclo de combustible⁷⁰. La capacidad de procesamiento de esta planta sería de 800 toneladas anuales de combustible nuclear exhausto, de las cuales 8 toneladas serían de plutonio⁷¹ (CNIC).

Más adelante se trata con mayor detalle, pero es importante tener en mente que, sin estas instalaciones no sería posible reutilizar el combustible nuclear exhausto para la producción de energía, y como consecuencia, no habría justificación ni para continuar acumulando este material en almacenes provisionales –agravando los riesgos potenciales en caso de un desastre–, ni para no disponer de manera definitiva del plutonio que contiene el combustible

⁷⁰ Véase la sección de Ciclo de Combustible

⁷¹ El plutonio es un subproducto de la fisión nuclear del uranio 238, y representa el 1% del combustible nuclear exhausto.

nuclear exhausto. En tales circunstancias, si el proyecto de la planta de reprocesamiento de combustible nuclear exhausto de Rokkasho fracasa, las opciones disponibles serían: cambiar el modelo de la industria nuclear japonesa, dejando de lado el ciclo de combustible –lo cual implicaría dejar de lado también el llamado sueño tecnológico–, o como hasta ahora, consignar este servicio al extranjero (Reino Unido y Francia). Otra opción que no puede soslayarse es continuar postergando el inicio de operaciones de esta planta, con el objetivo de mantener el estatus quo de la industria nuclear japonesa por el mayor tiempo posible.

La intención de hacer notar las alternativas en caso de que este proyecto fracase es subrayar la importancia de esta planta de reprocesamiento de combustible nuclear exhausto, y a pesar del papel tan significativo que desempeñaría, existe también una gran incertidumbre en cuanto a su correcto funcionamiento. La última estimación indica que en 2021 iniciará operaciones comerciales, mas no es la primera vez que esta fecha se aplaza por dificultades técnicas; además, existen otros factores, que se abordan posteriormente y, que se suman a la problemática que pone en duda la factibilidad y el buen funcionamiento de estas instalaciones.

En resumen, la infraestructura de la industria nuclear japonesa está incompleta, envejece rápidamente y al mismo tiempo se encarece con normas de seguridad cada vez más estrictas. Las condiciones para renovar la infraestructura no se ven sustentadas en bases sólidas, tanto desde el punto de vista económico como desde el técnico. Por una parte, son pocos los reactores nucleares que han reiniciado operaciones después del desastre nuclear de Fukushima y aún tienen asuntos por resolver para asegurar la continuidad de su funcionamiento; por otra parte, también son pocos los reactores que han alcanzado el periodo de vida estimado para asegurar el retorno de inversión (40 años), y de estos, no todos

alcanzaron las tasas de operación mínimas (80%). Esta situación hace que, desde el punto de vista financiero, disminuya el atractivo para invertir en este tipo de infraestructura.

Aunado a esto, algunos de los proyectos clave están inconclusos y envueltos en incertidumbre, como el caso de Rokkasho o el de nuevos reactores nucleares, o no tienen siquiera un sitio seleccionado para su construcción, como el caso de un sitio de disposición final de desechos nucleares; por lo que la infraestructura que requiere esta industria está inacabada, y esta situación incrementa los riesgos para la seguridad de todo del sistema. Por si fuera poco, esta industria lleva a cuestas un pasado sombrío, entre corrupción y catástrofes, si la industria nuclear ha de cumplir con la meta de abastecer el 22% de la energía eléctrica del país para 2030 –como estipula el Plan Básico de Energía de 2018–, muchos *esfuerzos y sacrificios* tendrán que concretarse para lograrlo.

2.4 FACTIBILIDADES DE LA ENERGÍA NUCLEAR

2.4.1 LOS COSTOS DIRECTOS Y LAS UTILIDADES DE LA INDUSTRIA NUCLEOELÉCTRICA

Los costos directos de la industria nucleoelectrónica son todos los gastos en los que incurren las compañías de electricidad para generar y transmitir energía eléctrica mediante el uso de energía nuclear; estos costos van desde la planeación hasta la transmisión de energía eléctrica, e incluyen todos los procesos intermedios necesarios para posibilitar este servicio. Tomando en cuenta el costo de tales procesos y la cantidad de energía generada, se define un costo por unidad de energía, i.e., el costo unitario; este valor es considerado después para el cálculo de las cuotas de energía que debe pagar el consumidor final. La forma de calcular los costos para cada caso (reactor), está dada por la siguiente fórmula derivada del método de cálculo de costos denominado *model plant* (大島, 原発は安くない, 2011):

$$[1]: \text{CU } [¥/\text{kWh}] = \text{CG } [¥] / \text{E } [\text{kWh}]^{72}$$

$$\text{Donde } [2]: \text{CG } [¥] = \text{I } [¥] + \text{C } [¥] + \text{OyM } [¥]^{73}$$

$$\text{Y } [3]: \text{E } [\text{kWh}] = \text{P } [\text{kW}] \times (365 \text{ días} \times 24 \text{ horas}) \times \text{TGN } [\%] \times t \text{ [años]}^{74}$$

En pocas palabras, el costo unitario de la energía es directamente proporcional a los costos de generación que incluyen el monto de la inversión, el costo del combustible nuclear y los costos de operación y mantenimiento (fórmula [2]); y es inversamente proporcional a la cantidad de energía total que se produce (fórmula [3]). En el caso de la energía nuclear, el monto de la inversión es el más alto de los costos, por lo que asegurar el retorno de la inversión es una de las cuestiones más importantes y riesgosas. Más ahora, con las nuevas regulaciones de seguridad, los montos de inversión necesarios para construir o mantener en operación una planta nuclear se han elevado drásticamente, no solo en Japón, sino en el mundo (大島, 原発は安くない, 2011). Para calcular el retorno de la inversión, dos factores son muy importantes: la tasa de generación neta (TGN) y el tiempo de vida de cada reactor (T) (fórmula [3]).

A pesar de la alta densidad energética de la energía nuclear, para recuperar los altos montos de inversión es necesario que los reactores funcionen por periodos prolongados de

⁷² Donde:

CU = Costo unitario de la energía nuclear. En yenes sobre kilowatt-hora.

CG = Costos del proceso de generación de energía nuclear. En yenes.

E = Cantidad de energía generada. En kilowatts-hora.

⁷³ Donde:

I = Monto de la inversión. En yenes.

C = Costo del combustible. En yenes.

OyM = Costos de operación y mantenimiento. En yenes.

⁷⁴ Donde:

P[GW] = Capacidad (potencia) del reactor nuclear en GigaWats (multiplicado por 8,760 horas).

TGN = Tasa de generación neta o porcentaje de utilización del reactor nuclear.

T = Longevidad del reactor nuclear en años.

tiempo (T) con la mayor tasa de utilización posible (TGN). El modelo de cálculo empleado – *model plant*– permite utilizar valores estimados, no necesariamente tomados de la experiencia. Así, los modeladores utilizan 40 años como periodo estimado de vida del reactor (T) y le asignan 80% a la tasa de generación (TGN) (大島, 原発は安くない, 2011). Esto quiere decir que durante 40 años, los reactores deberán funcionar a su máxima potencia durante el 80% del tiempo. Tomando estas consideraciones, el costo unitario de la energía nuclear japonesa oscila entre 5 y 7 ¥/kWh (\$0.045/kWh y \$0.063/kWh USD)⁷⁵ (大島, 原発は安くない, 2011). Si damos por sentado este costo, en verdad, la energía nuclear es bastante competitiva en términos de mercado. Sin embargo, en la práctica, muy pocos reactores han cubierto un periodo de vida de 40 años y menos han alcanzado tasas de generación del 80% (tabla 2.1)⁷⁶. Si se alimentan las fórmulas con estos datos, el costo unitario de la energía nuclear sería más elevado; sin mencionar que hay otros costos que no se consideran en este modelo porque no los cubren las compañías de electricidad⁷⁷. Sin embargo, para estas compañías es posible sostener que el costo de la energía nuclear es bajo, omitiendo el hecho de que el gobierno corre con otros gastos que son necesarios para que la industria nuclear pueda funcionar. Además, en caso de

⁷⁵ En la página web de KEPCO, por ejemplo, se le asigna un costo de 10.1 yenes/kWh (incluyendo otros costos, pero aún la metodología y las cantidades consideradas para llegar a esta cifra son cuestionables) (2019).

⁷⁶ Según un estudio del Profesor Ōshima Ken'ichi de la Universidad de Ritsumeikan, en los 41 años transcurridos entre 1970 y 2010, la tasa de generación del sistema nuclear entero apenas ha alcanzado un promedio de 70%. Aunque después de los paros recientes, esta cifra será mucho menor.

⁷⁷ Después del desastre nuclear de Fukushima, muchas investigaciones hicieron evidente esta consideración, y a partir de entonces se tomaron en cuenta otros factores para el cálculo de costos unitarios, sin embargo, la metodología y los valores que toman para el cálculo aún son cuestionables.

que estas premisas de diseño no se cumplieran (v.gr. TGN=80% y T=40años), les es permitido a las compañías del Kyū-den utilizar otros mecanismos para evitar tener pérdidas.

En este sentido, debido al modelo monopólico que ha prevalecido en el sector energético japonés, a pesar de no satisfacer los valores que supone el modelo de cálculo de costos, las utilidades de las compañías de electricidad no se ven afectadas. Para asegurar las utilidades de las compañías regionales de electricidad (no solo del sector nuclear), se adoptó una metodología de cálculo *ad hoc*, que consiste en sumar las utilidades al costo unitario final de la energía y el resultado es el precio de venta al consumidor (sin impuestos):

[4] Precio de la energía = Costos de operación (CO) + Utilidades (U). (大島, 原発は安くない, 2011).

Esta metodología avalada por la reglamentación del METI⁷⁸, evidentemente, no ofrece suficientes estímulos para mejorar la productividad, la seguridad, ni la competitividad de la industria. Según las auditorias que se le hicieron a TEPCO después del desastre nuclear de 2011, se halló que entre 2001 y 2010, TEPCO había tenido costos de operación (CO) de ¥618.6 mil millones (\$5.6 mil millones USD) y una utilidad de ¥363.4 mil millones (\$3.3 mil millones USD) (大島, 原発は安くない, 2011), i.e., una utilidad mayor al 50% con respecto a los costos de operación. De esta manera, considerando un sistema que favorece a la energía nuclear, que asegura las ganancias sin necesidad de competir y que le evita pesadas cargas financieras (con las que corre el gobierno), la energía nuclear pinta como un muy buen negocio. Esta

⁷⁸ Regulación de Tarifas de Retorno 「総括原価方式」 establecida en 「一般電気事業供給約款料金算定規則」.

metodología de cálculo de utilidades, no obstante, cambiará en 2020 (bajo la ley de empresas de electricidad⁷⁹).

Otra cuestión a tomar en cuenta es la asignación de las diferentes fuentes de energía para cubrir la carga base, la carga media y la carga pico del sistema energético⁸⁰. Gracias a que a la energía nuclear se le asigna la carga base, es posible considerar en los cálculos una tasa de generación neta (TGN) del 80%. Si por el contrario se le asignara la carga media –como es el caso de la mayoría de las plantas de carbón o de gas, por ejemplo– este valor tendría que reducirse a un 50%, por lo que disminuiría su competitividad frente a otras fuentes, pues como es evidente en las fórmulas [1] y [3], este factor incrementaría el costo unitario de la energía nuclear. Consiguientemente, lo que tenemos es un modelo de distribución de cargas congruente con un sistema energético centralizado, que favorece a la industria nuclear, dándole una ventaja comparativa frente al resto de las fuentes de energía.

2.4.2 LOS SUBSIDIOS A LA ENERGÍA NUCLEAR

En el marco social de principios de 1960, y en especial debido a la poca aceptación del plan nuclear y de la construcción de instalaciones nucleares, se tuvo a bien utilizar la fuerza del Estado y se comenzaron a otorgar diferentes tipos de subsidios a gobiernos locales para abrir camino al proyecto nuclear. En 1974 los distintos subsidios a la energía nuclear fueron unificados⁸¹ y reglamentados por el sistema de las 3 leyes de fuentes de energía⁸². El dinero

⁷⁹ 電気事業者法

⁸⁰ La carga base se mantiene siempre constante, es la cantidad de energía que el sistema debe producir constantemente, sin importar las variaciones del lado de la demanda.

⁸¹ 電源立地地域対策交付金

⁸² 電源三法

para repartir bajo las partidas de subsidios es recaudado año con año de un impuesto agregado a la tarifa de luz⁸³. Un reactor de 1.35GW, por ejemplo, es objeto de subsidios por hasta ¥124 mil millones (\$1.1 mil millones USD) a ejercer en 45 años, incluyendo 10 años de planeación y construcción y 35 años de utilización (大島, 原発は安くない, 2011).

Estos subsidios implican cantidades de dinero muy grandes para las pequeñas localidades donde se instalan las plantas nucleares, y se produce una dependencia importante a estos subsidios. Este mecanismo genera también grupos de interés que se benefician de los subsidios y se convierten en una fuerza que impulsa al régimen nuclear, a costa de los riesgos para las comunidades aledañas y de la carga financiera para los consumidores. En otras palabras, estos subsidios abren el paso para que la infraestructura nuclear pueda ser aceptada por las comunidades locales, pero al mismo tiempo, crean una relación de codependencia entre estas comunidades y la energía nuclear. Además, en muchas ocasiones estos recursos son utilizados en proyectos que no necesariamente benefician a las comunidades locales; asimismo, el flujo casi libre de tales cantidades de dinero también es un factor que propicia la corrupción entre los actores involucrados en procesos de construcción y operación de instalaciones nucleares.

Por otra parte, los fondos que para operar reciben las instituciones dedicadas a la investigación y desarrollo de tecnologías relacionadas con la energía nuclear, provienen del gobierno, por lo que son un subsidio más para esta industria. Como se observó anteriormente, la mayoría de estos proyectos de investigación no rindieron los frutos esperados y fueron demasiado costosos. Un ejemplo representativo es el proyecto de Monju, que se mantuvo por

⁸³ 電源開発促進税 (電促税)

varias décadas, a pesar de la falta de resultados y de los accidentes ocurridos, así como de los casos de ocultamiento de información. Este proyecto representaba una carga de ¥50 millones (\$454,454 USD) diarios (もんじゅ君, 2013). Sin contar los costos previos de planeación (desde 1968) ni los costos del desmantelamiento (desde 2016), esta cifra multiplicada por el tiempo que funcionó la planta (26 años, entre 1991 y 2016), asciende a ¥474.5 mil millones (\$4.3 mil millones USD)⁸⁴. Este proyecto fue criticado durante mucho tiempo, tanto por sus costos y la falta de resultados como por el grado de riesgo que comportaba y el *accidente* de 1995; también por la presión de otros países –Estados Unidos– por darlo por terminado. Sin embargo, no fue sino hasta 2016 que la decisión de cerrarlo fue tomada, con base en el costo de implementar las nuevas normas de seguridad.

2.4.3 LOS COSTOS DEL RIESGO DE UNA CATÁSTROFE NUCLEAR

A pesar de las advertencias que elevaron algunas voces tanto propias como ajenas a la industria nuclear sobre la alta probabilidad de un *accidente*⁸⁵, una firme creencia en la seguridad, a la postre referida como el *mito de la seguridad*⁸⁶, se mantuvo de manera generalizada –por lo menos– hasta el 11 de marzo de 2011. Según la cifra objetivo del OIEA que se utiliza como factor para el cálculo de costos de riesgos, un accidente nuclear nivel 7 se debe presentar cada 100,000 años/reactor (大島, 原発は安くない, 2011). No obstante, en el caso de Japón, después

⁸⁴ En números redondos: 26 años x 365 días x ¥50 millones.

⁸⁵ Un ejemplo destacado es el ingeniero Jinzaburo Takagi, quien observó las fallas y riesgos de la industria nuclear desde dentro; fue activista y publicó sus opiniones en libros y artículos, y predijo una catástrofe nuclear mucho antes del desastre en Fukushima.

⁸⁶ 安全神話

del accidente nivel 7 de Fukushima, esta cifra ronda los 500 años/reactor, unas 200 veces mayor al riesgo objetivo.

Un desastre nuclear puede llegar a ser el factor más relevante en un análisis de costos. Tomando en cuenta los datos que estimó el METI en 2012 de Fukushima, esta cifra se calculó en ¥8 billones (\$72 mil millones USD). La estimación más reciente sitúa dicho costo en ¥22 billones (\$200 mil millones USD) (小森, 2019); i.e., aproximadamente 4% del PIB japonés de 2018. No obstante, otros cálculos, como los que presenta el Japan Center for Economic Research⁸⁷, muestran que el costo puede alcanzar los ¥81 billones (\$736 mil millones USD) (小森, 2019); i.e., aproximadamente el 15% del PIB de Japón en 2018. El aumento de los costos de la energía en Japón que se ha presentado en los últimos obedece principalmente a la necesidad de atender los problemas producidos por el desastre nuclear⁸⁸.

Además de considerar el costo de un accidente nuclear y su probabilidad de ocurrencia, es necesario tomar en cuenta que muchos de los costos que deja un accidente nuclear no son convertibles a valores monetarios, y muchos de los daños son *irreversibles*, como la inhabilitación de amplias superficies de territorio afectadas por la radiación⁸⁹, la pérdida de confianza en los productos de la región, la zozobra de los habitantes por regresar o no a las zonas evacuadas y por las repercusiones que en largo plazo que la exposición a sustancias

⁸⁷ 日本経済研究センター

⁸⁸ Algunos de estos problemas son la descontaminación de las áreas afectadas y el desmantelamiento de los reactores nucleares, tomando en cuenta que aún hay material altamente radiactivo en los reactores nucleares. Otras sumas de dinero que considerar aquí son la indemnización a víctimas y los costos de recuperación de áreas urbanas.

⁸⁹ Se estima que la superficie que quedará sin poder ser habitada, por niveles de radiación superiores a 50 mili sieverts/año, asciende a 337 kilómetros cuadrados. Poco más que la superficie de la ciudad de Nagoya (326 km²) (日刊スポーツ, 2019).

radioactivas pudiera tener en su salud⁹⁰. Éstas, entre otras consideraciones, afectarán de manera severa tanto a la vida de las personas de las comunidades afectadas como a la economía regional durante décadas. Una de las características de la naturaleza de los *accidentes* nucleares es que ponen en riesgo todos los rubros de la seguridad humana en la región donde ocurren.

Quedan otros cuestionamientos importantes, como la manera de hacer frente al costo de una catástrofe nuclear, cuando por ejemplo, ni siquiera aseguradoras ni coaseguradoras privadas corren con un riesgo tan elevado. En realidad, estos costos son trasladados al gasto público, sin informarlo al público. ¿Qué otra industria podría nacer y subsistir con costos por riesgos tan elevados? Además, el cálculo del costo de un accidente nuclear –por sí mismo– implica la probabilidad y la expectativa de un desastre nuclear; ¿por qué habría de mantenerse una industria de la cual se esperan accidentes cuya severidad es tan elevada? ¿Vale la pena correr el riesgo? Más aún, tomando en cuenta que existen otras alternativas viables.

2.4.4 EL CICLO DE COMBUSTIBLE Y LA DISPOSICIÓN DE DESECHOS RADIOACTIVOS

Otras partidas de costos que no van incluidas en el cálculo de precios unitarios de la energía nuclear, son las que surgen de los procesos del *ciclo de combustible* y de la disposición de desechos radioactivos. En conjunto, estos 2 son los *procesos terminales* de la industria

⁹⁰ Los síntomas de enfermedades por radiación dependen de muchos factores, sin embargo, muchos de estos síntomas pueden ser confundidos fácilmente con los provocados por enfermedades comunes, lo cual, dificulta el diagnóstico a la hora de definir compensaciones para las personas afectadas por algún desastre nuclear. Dicho de otro modo, las características de los síntomas de enfermedad por radiación pueden ser achacados a otros padecimientos para evadir la responsabilidad de pagar indemnizaciones a las personas afectadas.

nuclear. Además de suponer una carga financiera altísima, estos dos procesos son la parte más débil y delicada de todo el sistema tecnológico por los riesgos que comportan.

EL CICLO DE COMBUSTIBLE

El ciclo de combustible es el proceso por el que pasa el combustible nuclear exhausto para poder ser reutilizado como combustible nuclear. Algunas de las características de este proceso son su alto costo –unas 10 veces más caro que el combustible nuclear que se utiliza por primera vez (吉岡, 2011)– y la producción de sustancias residuales altamente radioactivas, como el neptunio o el zirconio, conocidos como *las cenizas de la muerte*⁹¹. No obstante el elevado costo, la producción de residuos altamente radiactivos y los riesgos que esto conlleva, en Japón se ha decidido mantener este modelo de industria nuclear. Una de las razones es que este proceso *aporta* a la independencia energética –objeto del sueño tecnológico de Japón–, si es que se lleva a cabo domésticamente, para lo cual, la planta de Rokkasho es una pieza de infraestructura indispensable, como se estableció anteriormente. Otra razón es que este proceso permite mantener el combustible nuclear exhausto en almacenes temporales mientras espera ser procesado para su reutilización; si no se emplea este proceso, no habría razón para evitar enviarlo a un sitio de disposición final, pero en Japón no hay un sitio de disposición final, y como se aborda más adelante, esto da pie a otra problemática. En este sentido es necesario considerar que el combustible nuclear exhausto contiene plutonio, un material altamente peligroso debido a que puede usarse para fabricar bombas nucleares de una manera relativamente sencilla. Por ende, esta sustancia es una de las más vigiladas por la OIEA, y si el

⁹¹ 死の灰. Se les llama de esta manera debido a que estas sustancias emiten una potente radiación, que a corta distancia es capaz de matar a un ser humano de manera casi instantánea. Además, su vida media se cuenta en millones de años (CNIC).

combustible nuclear exhausto –que contiene plutonio– no se coloca en sitios de disposición permanente o si no se *recicla* para la producción de energía, no hay una razón sostenible para poseer esta sustancia, en especial, en las cantidades que posee Japón.

Debido a estas razones, la industria nuclear japonesa no puede prescindir del ciclo de combustible –o por lo menos, no puede prescindir de la idea de poder llegar a materializarlo– en el corto o mediano plazo. Sin embargo, el proyecto de la planta de reprocesamiento de combustible nuclear de Rokkasho, está inmerso en una atmósfera de incertidumbre y problemas. Por una parte, el presupuesto asignado a su construcción y funcionamiento se ha incrementado desde su primer planteamiento en 1993, pasando de una proyección de ¥760 mil millones (\$6 mil millones USD) a casi ¥14 billones (\$127 mil millones USD) en 2018 (大島, 原発は安くない, 2011). En 2004, la Comisión de Recursos Energéticos (del METI) y el Denjiren, estimaron los costos de operación de los procesos terminales en ¥18.8 billones (\$170.1 mil millones USD) (大島, 原発は安くない, 2011). pero aun si el proyecto concluye con éxito, la capacidad de procesamiento de combustible nuclear exhausto (800ton/año) sería insuficiente para el parque nuclear japonés, por lo que puede considerarse que las estimaciones de la carga financiera que implica el proyecto son cortas.

Por otra parte, algunas de las características técnicas de esta planta –como las elevadas cantidades de radiación que emitiría⁹²– y algunos *accidentes* y errores de diseño que se han presentado –como el de un almacén de combustible nuclear exhausto sin consideraciones de diseño antisísmico–, han contribuido a ensombrecer el ambiente en el que está inmerso el

⁹² La radiactividad emitida al medio ambiente por la planta de reprocesamiento de Rokkasho en un día, sería equivalente a la emitida durante un año por una planta nuclear promedio (CNIC).

proyecto. Más aún, otra cuestión que deberá tratarse es la disposición de los mencionados residuos de este proceso –las *cenizas de la muerte*–.

En Rokkasho, mucho está en juego, aun tanto si el proyecto tiene éxito como si fracasa. Además de la posibilidad de contar con las capacidades para llevar a cabo el ciclo de combustible de manera doméstica, los costos financieros y políticos que cobrará el proyecto en algún momento son una amenaza latente para la industria nuclear y para quienes la apoyan. Si el proyecto fracasa, sería difícil justificar la carga financiera que ha representado para las finanzas públicas, además de perder la posibilidad de concretar el ciclo de combustible y las implicaciones de ello. Una de estas implicaciones es la posesión del plutonio contenido en el combustible nuclear exhausto. Si el proyecto continúa y cumple sus objetivos, tendría que cargar con la problemática que conlleva, señalada anteriormente, y afrontar –día a día– los riesgos que su existencia conlleva.

No obstante la importancia del proyecto, el inicio de operaciones de la planta de reprocesamiento de Rokkasho ha ido postergándose desde hace varios años. La hipótesis que sostiene esta investigación, a partir de lo establecido, es que la fecha de inicio de operaciones de Rokkasho continuará postergándose de manera indefinida, mientras sea políticamente posible. Esto permitirá mantener el estatus quo de la industria nuclear.

LA DISPOSICIÓN DE LOS DESECHOS RADIOACTIVOS

La disposición final de desechos radioactivos representa uno de los problemas más importantes para la industria nucleoelectrónica en todo el mundo. El peligro que representan estas sustancias radioactivas para el medio ambiente y los extensos periodos de tiempo por los que deben mantenerse bajo condiciones especiales de seguridad, hacen de este proceso final uno

con muchos riesgos e incertidumbres. El plutonio, por ejemplo, tiene un periodo de vida media de 24,000 años⁹³, y el de sustancias como el circonio o el neptunio, residuos del ciclo de combustible, son de 1.35 millones de años y 2.14 millones de años, respectivamente (大島, 原発は安くない, 2011). En Japón, las condiciones geográficas y otras consideraciones en torno de este problema han imposibilitado, siquiera, la designación de un sitio de disposición final.

En la década de 1990s, la búsqueda de un sitio de disposición final adoptó la estrategia de ofrecer paquetes de subsidios a los gobiernos locales de las comunidades que estuvieran de acuerdo con albergar estas instalaciones. No obstante esta medida, la única localidad que se postuló –la ciudad de Tōyō⁹⁴ en la prefectura de Kōchi– tuvo que retirar su candidatura en pocos días debido a la oposición de los habitantes de la localidad (CNIC, 2007). A diferencia del éxito de los programas de subsidios para la construcción de reactores nucleares, la disposición final no ha sido bienvenida en ninguna parte del país. A partir del año 2000, NUMO⁹⁵ se estableció como la organización encargada del manejo y disposición de los materiales altamente radiactivos, producto del proceso de reciclaje del combustible nuclear exhausto.

El proceso para definir y construir el sitio de disposición final es complejo y tardado. Además del consentimiento de algún gobierno local, es necesario realizar estudios geológicos del sitio, que tardarían aproximadamente 10 años. Si el sitio pasa las pruebas, comenzaría la construcción del depósito a 300 metros de profundidad, y se realizarían más pruebas geológicas, tardando otros 10 años. Si se determina finalmente que las condiciones son adecuadas,

⁹³ Esto quiere decir que, en el caso del plutonio, cada 24 mil años su radiactividad se reduce a la mitad.

⁹⁴ 高知県東洋町

⁹⁵ La Organización para el Manejo de desechos nucleares. 原子力発電環境整備機構.

entonces podría comenzarse a utilizar tal sitio para el resguardo permanente de los desechos altamente radioactivos. Entonces, una vez teniendo el consentimiento del gobierno de alguna localidad, el resto del proceso tomaría 20 años –si todo va bien–.

Entre tanto, la industria nuclear sigue funcionando y produciendo desechos radioactivos. A falta de un sitio de disposición permanente, la mayor parte de estas sustancias son resguardadas en instalaciones temporales dentro de las plantas nucleares. Como ya se dijo, esta situación solo contribuye a agravar los riesgos de contaminación radioactiva, aunque un sitio de disposición final que cumpla con las pruebas y requisitos de seguridad tampoco garantiza que el material radiactivo reposará por decenas de miles de años hasta que su radiactividad mengüe. Para ello, habría que tener certidumbre y control sobre factores humanos, geológicos y ambientales, durante larguísimos periodos de tiempo. Desde distintos puntos de vista, los *procesos terminales* son uno de los talones de Aquiles de toda industria nucleoelectrónica.

2.5 ¿ES INDISPENSABLE EL USO DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN JAPÓN?

Según el Plan Básico de Energía 2018, la energía nuclear es indispensable para contribuir a solucionar los problemas estructurales del sistema energético japonés, como la dependencia energética, la inestabilidad de precios de la energía en el largo plazo y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Algunas de las propiedades físicas de la energía nuclear –como su alta densidad energética o la reducida cantidad de gases de efecto invernadero que emite– son las que la colocan como un candidato adecuado para atender estos problemas. Sin embargo, si además de estas propiedades se toman en cuenta algunos de los componentes del sistema socio-tecnológico que posibilitan su uso, como pretende este análisis, el resultado conduce a conclusiones diferentes.

Como se trató anteriormente, en primer lugar, cabe cuestionar si la dependencia energética debe ser tratada como un problema estructural del sistema energético de Japón; aun considerándola de esta manera, la energía nuclear no es una fuente doméstica y, en estricto sentido, no aporta a la independencia energética de Japón. Para que la industria nuclear opere, requiere importar insumos básicos, y aunque su grado de autonomía tecnológica es elevada, muchos de los procesos e insumos deben consignarse al exterior para cumplir con tratados y acuerdos firmados con otros países.

En la misma tesitura, también resulta debatible la posibilidad de atender la inestabilidad de los precios de los energéticos en el mercado internacional mediante el uso de la energía nuclear. Para que contribuya a afrontar este problema, tiene que pensarse en la energía nuclear como una fuente doméstica, o por lo menos parcialmente doméstica, cuyos elementos exógenos puedan obtenerse de manera constante y estable, tanto por su disponibilidad en el mercado como por su costo. Sin embargo, ninguna de estas consideraciones puede darse por hecho. El uranio es un recurso agotable y siempre sujeto a las condiciones del mercado internacional y a variables geopolíticas. Por otra parte, aun considerando la energía nuclear como una fuente que contribuye a la estabilidad de los precios de la energía dentro del país – por su alta densidad energética, en todo caso–, la carga financiera que su uso representa para el Estado, es un factor que conduce a cuestionar la relevancia de su aportación para mitigar las fluctuaciones de los precios internacionales de los energéticos, y en última instancia, la factibilidad económica de este sistema tecnológico. Si la energía nuclear no es competitiva en términos de costo, qué sentido tiene su aportación a la estabilidad de los precios de la energía. Después del apagón de reactores nucleares no se han registrado anomalías en el sistema

energético y el aumento del costo de la energía obedece a los costos que dejó el desastre nuclear.

Finalmente, la atención al problema concerniente a la emisión de GEI del sistema energético mediante el uso de la energía nuclear, propicia otro foco de cuestionamientos. Atender un problema generando otra problemática no es la mejor forma de solucionar el problema original. Este es el caso del uso de la energía nuclear para disminuir las emisiones de GEI. En el largo plazo, la problemática que la industria nuclear comporta, es la radiactividad de sus desechos y la severidad de sus riesgos siempre latentes.

Los residuos radiactivos de la industria nuclear deben permanecer en condiciones que los aislen del medio ambiente durante decenas de miles de años para que su radiactividad disminuya lo suficiente como para no afectar a los seres vivos y a los ecosistemas que pudieran entrar en contacto con estas sustancias. Pero garantizar la estabilidad geológica, geopolítica y demás condiciones necesarias para asegurar el aislamiento de estas sustancias por tan largo tiempo, es una apuesta riesgosa, poco factible. En Japón no existe ningún lugar con las condiciones *ideales* para un sitio de disposición final de desechos nucleares, en el mejor de los casos, los sitios más propicios son señalados como *nozomashii* (aconsejable/deseable) en el mapa de sitios factibles elaborado por el METI⁹⁶. Además, si el ciclo de combustible se vuelve una realidad, habrá que lidiar con residuos aún más peligrosos. Contribuir a la disminución de emisiones de GEI mediante el uso de la energía nuclear, comporta más una problemática que una solución, o porción de la solución que pretende aportar.

⁹⁶ 科学的特性マップ

Con estos argumentos en mente, el uso de la energía nuclear para atender los objetivos y proporcionar soluciones a los problemas que plantea la PEJ, no es indispensable; más aún teniendo en cuenta la existencia de otras alternativas. Por el contrario, su uso es costoso y comporta riesgos tan graves que ni siquiera es una buena opción para diversificar las fuentes de energía del sistema energético en general. Y el uso de tantos recursos para desarrollar esta industria –sobre todo los dedicados al ciclo de combustible y a los procesos terminales– ha representado una pérdida de oportunidades de inversión en otros ámbitos de investigación y desarrollo tecnológico, como el de las energías renovables. En otras palabras, un alto costo de oportunidad.

Si la conclusión es que el uso de la energía nuclear no es indispensable para el sistema energético de Japón, y es más bien una carga, no es posible soslayar el hecho de que mantener su uso también puede responder a motivaciones e intereses –estratégicos y económicos– ajenos a la política energética. Un ejemplo importante son los grupos de interés que existen dentro de la llamada aldea nuclear y el argumento de la pérdida de recursos económicos al transferirlos al extranjero por la mayor compra de combustibles fósiles. Por supuesto, las dimensiones que alcanzó la industria nuclear en Japón son tales, que para disolverla es necesario considerar un plazo suficiente para migrar los recursos de una industria a otras. Y para frenar la transferencia de recursos al extranjero existen alternativas energéticas. Otro factor relevante es el carácter estratégico de las tecnologías nucleares sensibles (TNS). Al ser éste un sistema tecnológico dual, es posible para el Estado promover su uso con fines pacíficos –mediante la PEJ– para mantener latentes las capacidades tecno-militares de las TNS. La principal evidencia que sostiene esta conclusión es el diseño y la posición que ostentan las estructuras organizacionales que definen la política nuclear, siempre en los más altos niveles

del Estado y de la burocracia japonesa. Además, ante el entorno geopolítico que ha imperado en la región del Este de Asia en los últimos años, en Japón no faltan las voces que se alzan a favor de desarrollar aún más las capacidades militares del Estado, lo que incluye las capacidades nucleares⁹⁷.

Ya sea por fines militares, económicos o alcanzar el llamado *sueño tecnológico* de Japón, la industria nuclear japonesa sigue existiendo al amparo de un sistema que ha utilizado sus capacidades sin reparo para promover el uso de la energía nuclear y para rescatarla de las crisis –de corrupción, de presiones externas y de desastres– por las que ha atravesado. La existencia de este sistema tecnológico, por ende, depende de este sistema centralizado de toma de decisiones que prioriza la escala nacional sobre los intereses y necesidades a nivel local. En el siguiente capítulo se estudian los componentes de un sistema tecnológico que presumiblemente está promoviendo la transición energética, de un sistema centralizado a uno distribuido.

⁹⁷ En especial a partir del ascenso de China como potencia en la región y por el desarrollo de armas nucleares de Corea del Norte. Los ensayos balísticos de Corea del Norte que suelen terminar en algún punto del Mar de Japón son percibidos como una amenaza constante. Las disputas territoriales con China y Corea del Sur son otro factor importante en este sentido.

3.0 LAS ALTERNATIVAS

3.1 LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA POLÍTICA ENERGÉTICA

3.1.1 PRIMERAS POLÍTICAS (S. XX)

Después de la primera crisis del petróleo (1973) se implementaron programas de investigación y desarrollo (I&D) tecnológico para abrir paso a nuevas fuentes de energía y depender menos del petróleo importado. El primero de estos programas fue el Sunshine Project (1974), seguido por el Moonlight Project (1978), cuyo mayor objetivo fue incrementar la eficiencia energética en distintos puntos del sistema, tanto del lado de la demanda como de la generación. En 1980 bajo la “ley de promoción de desarrollo e inducción de energías alternativas al petróleo”⁹⁸ se instauró la organización NEDO⁹⁹, para dirigir los esfuerzos por desarrollar tecnologías orientadas al aprovechamiento de las ER (NEDO, 2019). Estos programas e iniciativas alcanzaron logros importantes en tanto al desarrollo tecnológico; aunque la estructura del sistema energético no cambió, ni hubo incrementos considerables del uso de estas fuentes de energía. El éxito de estos programas puede entenderse como una primera fase dentro del proceso de desarrollo tecnológico.

En la década de 1990, surgieron nuevas iniciativas para acelerar la adopción de estas tecnologías. La cumbre de Río (1992) y luego el Protocolo de Kioto (1997) alimentaron el sentido de urgencia para implementar políticas dirigidas a mitigar los efectos nocivos de la quema de combustibles fósiles y emisiones de CO₂ a la atmósfera. En Japón, por ejemplo, se implementó

⁹⁸ 石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律

⁹⁹ NEDO (Organización para el desarrollo de nuevas energías) 「新エネルギー産業技術総合開発機構」

un programa para incrementar el uso de energía solar en el sector residencial mediante un subsidio que cubría parte de la elevada inversión requerida para instalar paneles solares en viviendas¹⁰⁰ (ハッ橋, 2015). Este programa propició tanto el crecimiento del mercado para estos productos como el desarrollo de proveedores y tecnologías; el alcance del programa fue tal, que permitió a la industria japonesa convertirse en el primer exportador de estas tecnologías a nivel mundial (ハッ橋, 2015).

En este ambiente cargado de ideas de *descarbonización* y desnuclearización del sector energético, algunas comunidades japonesas realizaron esfuerzos por construir plantas de energía solar; un ejemplo representativo es la planta Hiramuka No.1, en la prefectura de Miyazaki¹⁰¹ (ハッ橋, 2015). En tanto al uso de la energía eólica, también se registró un crecimiento derivado de programas implementados por NEDO. Estos programas aportaron bastante a la expansión del uso de estas tecnologías y a su comercialización, aunque estas fuentes de energía apenas aportaban una fracción del consumo energético total de Japón, puede apuntarse como una transición de una fase de demostración a una de promoción de su uso. En comparación con algunos otros países que también comenzaron a desarrollar estos sectores, los números japoneses no eran tan buenos. Por ejemplo, en 2000 la capacidad

¹⁰⁰ 家庭用太陽光発電モニター事業 Inició en 1994.

¹⁰¹ Estas instalaciones se construyeron en 1994, en la ciudad de Kushima (串間市), en la prefectura de Miyazaki. A la sazón, Kyūshū Electric planeaba construir en las cercanías una planta nuclear. Por iniciativa de organizaciones ciudadanas se reunió el capital necesario para construir las instalaciones de energía solar. Aunque la capacidad de dichas instalaciones era pequeña (3.5kW), este es el primer ejemplo representativo, que da cuenta de la toma de conciencia por parte de los ciudadanos en torno a cuestiones como el cambio climático y los riesgos que comporta la industria nuclear.

instalada de energía eólica en Japón era de 0.14GW, mientras que en Alemania se registraban 6.11GW (GWEC, 2006).

A pesar de los buenos resultados de estos programas, aún no se desarrollaba una demanda sostenida de estas tecnologías y fuentes de energía. El mencionado programa de subsidios para instalar generadores solares en viviendas terminó en 2005 y el mercado comenzó a contraerse; de la mano con esto, otros países productores (Alemania y China) comenzaron a ganar competitividad y a tomar el liderazgo en la producción y exportación de este tipo de equipamiento en el mercado internacional (ハッ橋, 2015). Al interior del país, los elevados montos de inversión necesarios para la construcción de instalaciones, aunados a los altos costos de producción y a la relativamente baja eficiencia tecnológica de la época, hacían que los retornos de inversión fueran de largo plazo y supusieran un alto grado de incertidumbre. Es fácil que estas condiciones se conviertan en un círculo vicioso donde la falta de inversión deviene en una pobre demanda, y consecuentemente, ni disminuyen los costos de producción de la industria ni se estimula el desarrollo de nuevas tecnologías; esto resulta en menos incentivos para la inversión y así se perpetúa una espiral negativa. Más aún, con la posibilidad de continuar produciendo energía *barata* bajo un esquema que permite altos márgenes de utilidad a los monopolios regionales, la expansión del uso de las ER no tendría una razón de ser más allá del interés mostrado por utilizar energías más limpias por parte de algunas comunidades o grupos.

Paralelamente, en otros países –principalmente europeos– comenzaron a implementarse medidas que propiciaron la expansión de los mercados de las energías renovables. Programas como los que se describen más adelante, comenzaron a tener éxito en

esta tarea, resultando en la transformación paulatina de sistemas energéticos y en la liberalización de sus mercados. En Japón, no obstante, la idea de la liberalización del sector energético –como de muchos otros sectores– no fue bien recibida por parte de la industria que operaba bajo reglas que le permitían conservar sus mercados y establecer sus precios sin la necesidad de competir. Sin embargo, las presiones externas para que Japón avanzara en la liberalización de sus distintos sectores, llevó a la política energética a establecer un programa de liberalización paulatina, que comenzó en 1995 con el mercado mayorista. De esta manera, se posibilitó la venta de energía por parte de productores independientes (IPP) a las compañías regionales de electricidad. Luego, a partir de 2000, continuó una progresiva liberalización del mercado minorista para consumidores de alto voltaje y alto voltaje especial. No obstante, en términos generales el avance de la liberalización fue pobre, o casi nulo. En 2016 solo el 3% de este mercado era atendido por productores independientes de escala definida (PPS), lo que revela un grado de avance mínimo en tanto a la promoción y fomento para la creación de nuevas empresas y para la competencia en el sector energético (大島, 分散型エネルギーシステムへのパラダイムシフト, 2016).

3.1.2 SISTEMA RPS

En Japón, entre 2002 y 2010 la estrategia para expandir el uso de las ER se centró en un esquema de RPS¹⁰². Este esquema puede alinearse con otros, como el esquema FiT o las subastas de energía, en tanto que son mecanismos cuyo objetivo es incrementar el uso de ER, aunque la metodología de cada uno es distinta, así como sus ventajas y desventajas. El

¹⁰² Renewable Portfolio Standard. (RPS 制度). Bajo la ley de “mecanismos especiales para el uso de nuevas energías por las compañías de electricidad”. Definido en 2002 y en vigor a partir de abril de 2003.

Esquema de RPS funciona estableciendo cantidades obligatorias de ER que las compañías de electricidad deben producir o comprar a terceros. Ahora, comparando la generación de electricidad de Japón en 2010, de 931,000GWh, con la obligación establecida por el esquema RPS para el mismo año (12,200GWh), resulta ser una proporción tan pequeña (1.35%) que más que una meta parece un límite para la expansión del uso de estas fuentes de energía (ハッ橋, 2015). Hay quienes consideran la década de los 2000 como la década perdida por el pequeño avance de las ER en la mezcla energética de Japón. También es posible argumentar que Japón tiene un retraso de una década en materia de política energética con respecto a los países más avanzados¹⁰³.

3.1.3 SISTEMA FiT

La implementación de una nueva estrategia para expandir el uso de ER llegó en 2009, primero con el inicio de un programa FiT¹⁰⁴ limitado al sector residencial, y luego con el emprendimiento de la Reforma del Sistema Energético como política de Estado ¹⁰⁵ por parte de la administración del recién llegado PDJ¹⁰⁶. En esta tesitura, se conformó un grupo de trabajo¹⁰⁷ –bajo el METI– cuyo objetivo era expandir el uso de las ER mediante un esquema FiT generalizado. En julio de 2010 se establecieron las generalidades del esquema y se conformó

¹⁰³ Es común que se compare con países como Alemania, Dinamarca, Irlanda, España y Estados Unidos, en materia de política energética.

¹⁰⁴ Feed-in Tariffs (FiT), por sus siglas en inglés. 固定価格買取制度.

¹⁰⁵ 電力システム改革.

¹⁰⁶ El Partido Democrático Japonés (DPJ) asumió la mayoría en la cámara de representantes en 2009, después de haber sido oposición desde su creación en 1998. Desde 1955, con una breve interrupción en 1993-94, el Partido Liberal Demócrata (PLD) mantuvo siempre su supremacía, en mayor o menor medida, en la Cámara de Representantes.

¹⁰⁷ 再生可能エネルギーの全量買取に関するプロジェクトチーム (2009.11).

la Comisión FiT¹⁰⁸. El 11 de marzo de 2011 –el mismo día en que ocurre el gran terremoto de Tōhoku– se aprobó como proyecto de ley en el Gabinete y se envió a la DIETA, donde se ratificó el 26 de agosto de 2011 como la Ley FiT¹⁰⁹, y el programa entró en vigor el 1 de julio de 2012 (木村, 2016).

Este esquema resultó ser más efectivo para difundir el uso de ER. A diferencia del RPS, el esquema FiT contribuye a reducir drásticamente los riesgos financieros que corren los productores de ER y no impone una obligación –o límite– en tanto a la cantidad de ER que las compañías de electricidad deben producir o comprar. En cambio, al definir tanto el precio de compra de la energía como el periodo de tiempo que se asegura la compra de esta energía bajo un contrato, se procura un marco que por un lado asegura retornos de inversión, y por otro, elimina el riesgo que corren los productores por la posibilidad de ser desplazados por competidores (木村, 2016). Así mismo, este esquema incentiva el uso de tecnología más eficiente para maximizar las ganancias que el precio de compra fijo asegura; de esta manera, aunque la competencia entre productores de energía no se active al principio, la competencia entre fabricantes de equipo sí, con lo que se impulsa la búsqueda de mejoras tecnológicas y de mayor eficiencia en todo el espectro industrial (木村, 2016). Consiguientemente, desde el inicio del programa, se ha alentado tanto el uso de ER como la competitividad de esta industria en general. Mientras que entre 2003 y 2011 se instalaron 7.13GW de ER en Japón, entre julio de 2012 y diciembre de 2015 se instalaron 26.23GW (木村, 2016).

¹⁰⁸ 買取制度小委員会. Comisión para regular los precios y lineamientos del programa FiT.

¹⁰⁹ 電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法. (FiT 法).

Por otra parte, entre las desventajas que presenta el esquema FiT está el riesgo de fijar un precio de compra de las ER por un largo plazo, pues si éste es demasiado alto, la carga financiera para mantenerlo se eleva bastante, mientras que si es demasiado bajo, el programa fallará para atraer inversiones. Además, mientras que por un lado el programa incentiva la producción de ER, por otro, no necesariamente establece alguna obligación –ni a las compañías regionales de electricidad ni a alguna otra instancia– para acondicionar la red de transmisión y sus capacidades para recibir grandes cantidades de energía variable. Estos costos, entonces, deben ser tomados por las compañías que conectan sus líneas a las redes de transmisión. En parte debido a estas cuestiones han surgido problemas como el llamado problema de diferimiento de conexión¹¹⁰, que será tratado más adelante y, que ha mermado la capacidad de expansión de las ER.

Para tratar de resolver los problemas que el esquema FiT original trajo consigo y mejorar su funcionamiento, en abril de 2017 se reformó la ley FiT. El principal objetivo de la reforma fue disminuir la carga financiera que aumentaba aproximadamente 70% cada año (tabla 3.4). También, se abordan temas de mantenimiento y competencia entre productores para procurar que los costos de producción disminuyeran con mayor rapidez, y con ellos, los precios de compra de la energía. Aunque es pronto para definir los resultados de la reforma, por lo pronto, la tarifa fiscal del programa FiT ha disminuido su ritmo de aumento entre 2017 y 2019 (de 70% a 5% anual aproximadamente) (tabla 3.4).

El sistema FiT por sí mismo no es suficiente para consolidar el uso de ER en el largo plazo, y otras reglamentaciones se han modelado para alcanzar este fin. La más importante es la

¹¹⁰ 接続保留問題.

reforma de la Ley de las Empresas de Electricidad¹¹¹ que estableció un marco que modificará el funcionamiento general del sistema energético y cuyos alcances se verán a partir de 2020. Los aportes más importantes que establece esta reforma son: la liberalización total del mercado energético minorista a partir de abril de 2016; la separación de la producción, la transmisión y la distribución de energía¹¹² que entrará en vigor en 2020; y la eliminación de la regulación de tarifas de retorno¹¹³ (大島, 分散型エネルギーシステムへのパラダイムシフト, 2016). Esta reforma derivará en la transformación del modelo de negocios que la industria energética había venido utilizando hasta ahora, pues pretende fomentar la competencia entre empresas y fuentes de generación mediante mecanismos de mercado, así como ofrecer una mayor estabilidad en los precios de la energía. El éxito y la profundidad de la transformación del sector energético japonés que derive de estas nuevas regulaciones podrán apreciarse cuando éstas entren en vigor –en 2020–.

3.2 ESTRUCTURAS ORGANIZACIONALES

3.2.1 ELEMENTOS REGULADORES

La regulación de los distintos aspectos de estos sistemas tecnológicos es labor de comisiones y organizaciones que dependen directamente del METI o de alguna de sus agencias; aunque algunas organizaciones cuentan con autonomía para operar, finalmente es el METI la institución que orquesta este sistema. Las funciones de estas instancias van desde la vigilancia de aspectos de competencia hasta el control de la transmisión de energía de una región a otra, así como la coordinación de esfuerzos en materia de I&D tecnológico. Ergo, cada

¹¹¹ 電気事業者法

¹¹² 発送電分離

¹¹³ Rates of Return Regulation = 総括原価主義 / 総括原価方式

una de estas instancias se encarga de regular algunos aspectos del funcionamiento del sistema energético y de recuperar información esencial, con un especial enfoque en las ER. Todas trabajan de manera independiente y es el METI la institución que coordina sus labores y utiliza la información que cada una le reporta para diseñar las políticas del funcionamiento del sistema. Algunas de las más importantes se describen brevemente a continuación.

OCCTO

La Organización para la coordinación Trans-Regional de Operadores de Transmisión (OCCTO)¹¹⁴, fue instituida el 1 de abril de 2015 como dependiente de la Agencia de Energía y Recursos Naturales. Una de las principales funciones de esta organización es incrementar las capacidades de transmisión de energía de una región a otra, así como regular dicha transmisión. En el pasado, la transmisión de una región a otra no era considerada, pues cada compañía regional de electricidad tenía bien marcada su jurisdicción. Más aún, la parte Oeste del país funciona con una frecuencia distinta a la del Este; imposibilitando una transmisión directa (OCCTO, 2018).

EGC

La comisión de vigilancia del mercado de electricidad y gas (EGC)¹¹⁵ fue establecida en septiembre de 2015 para regular y fortalecer la competencia en el mercado de gas y de electricidad que fue liberalizado en abril de 2016 (EGC, 2018).

¹¹⁴ Organization for Cross-Regional Coordination of Transmission Operators, Japan. 「電力広域的運営推進機関」.

¹¹⁵ Electricity and Gas Market Surveillance Commission 「電力・ガス買取監視委員会」.

COMISIÓN FIT

Para detallar las regulaciones del esquema FiT japonés, en julio de 2011 se instauró la Comisión del Sistema FiT¹¹⁶ bajo el Subcomité de Compañías de luz de la Sección de Nuevas Energías de la Comisión Investigadora de Recursos Energéticos¹¹⁷. Entre las funciones de esta comisión está la aprobación de solicitudes de ingreso al programa y la definición de los precios y plazos de compra de energía (経済産業省, 2019).

NEDO

Esta organización surgió en 1980, y actualmente continúa coordinando los esfuerzos de la industria, instituciones públicas y universidades para la I&D de nuevas tecnologías y proyectos de innovación. Su estatus actual es el de una organización independiente, no obstante, los resultados de sus programas son reportados al METI y depende de recursos gubernamentales para su funcionamiento (NEDO, 2019).

El esquema organizacional con el que trabajan estas instituciones es bastante vertical. Cada comisión y organización es conformada por varios grupos de trabajo, con diferentes grados de autoridad uno respecto del otro, y un director que reporta directamente al METI o a alguna de sus agencias. Estas organizaciones emiten información, estudios y opiniones al METI, donde se concentran junto con las de otras áreas del sector energético, v.gr., de la industria nucleoelectrónica o del área de combustibles fósiles. Finalmente, es el METI el encargado de diseñar la política energética. Como se observó en el capítulo anterior, las estructuras

¹¹⁶調達価格等算定委員会

¹¹⁷総合資源エネルギー調査委員会新エネルギー部会・電気事業分科会. Dependencia del METI.

organizacionales que actúan sobre los intereses de la industria nuclear tienen mayores alcances dentro de la estructura burocrática, llegando incluso al gabinete y a la figura del Primer Ministro. Por ende, la definición de la política energética es resultado de una serie de decisiones centralizadas en las que intervienen intereses que no necesariamente tienen que ver con el sector energético.

3.2.2 ELEMENTOS OPERATIVOS

A partir de la liberalización del mercado minorista (2016), el número de empresas de energía creció rápidamente. Actualmente están registradas 809 empresas productoras de energía (経済産業省 資源エネルギー庁, 2019). En cada prefectura de Japón se registran por decenas, aunque no todas necesariamente producen con fuentes renovables. Las que sí producen con fuentes renovables suelen ser empresas pequeñas o medianas, normalmente, con pequeña y dispersa capacidad de generación, fomentadas por el sistema FIT.

Un ejemplo representativo es Aizu-Denryoku (Aizu-den), una empresa con sede en Aizu, Fukushima, y que genera energía eléctrica a partir de fuentes renovables¹¹⁸. Aizu-den tiene una planta de 6 empleados y una capacidad instalada de 5MW. Las instalaciones están distribuidas en más de 70 sitios en toda la prefectura, principalmente en la zona de Aizu. La mayor parte de la generación proviene de energía solar, aunque cuentan con una planta hidroeléctrica de pequeña capacidad y un proyecto para construir un parque eólico de 3 generadores con capacidad de 9.6 MW; este último en conjunto con otras 2 empresas locales.

¹¹⁸ La información referente a esta empresa fue recabada durante un viaje de estudio, directamente del personal de la empresa y con su consentimiento.

La fundación de Aizu-den en 2013 fue iniciativa de un empresario de sake de la prefectura de Fukushima, con el ideal de satisfacer con energías limpias la demanda de la prefectura y no depender más de la energía nuclear u otras fuentes. De manera similar, otras empresas con características parecidas nacieron bajo el esquema FiT; no obstante el camino no es fácil, pues además de los obstáculos que representan ciertas regulaciones y las cargas financieras, muchos de ellos comienzan sin experiencia en el ámbito y sin los recursos necesarios. Las claves para permanecer en el mercado y crecer han sido los precios establecidos por el esquema FiT, la demanda de ER en el mercado energético, así como el apoyo de sectores de las comunidades donde se construyen las instalaciones y el apoyo tanto de gobiernos locales como de empresas e instituciones financieras.

La liberalización del mercado minorista (2016) posibilitó a las empresas generadoras de energía vender su producción a las compañías regionales y a otros usuarios. En el caso de Aizu-den, por ejemplo, parte la energía que produce es vendida a una empresa de distribución, Minna-Denryoku, la cual mediante contratos con particulares vende dicha energía. Otra parte de su producción la vende directamente a una cadena local de *ramen*. Para afianzar el modelo de negocios de estas empresas se comienza a recurrir al uso de nuevas tecnologías y conceptos, como el *blockchain* y las monedas locales; la revitalización económica de las zonas alejadas de Japón es uno de los proyectos que benefician mutuamente a las comunidades y a las empresas locales de generación de energía.

Otro elemento operativo importante para en el desarrollo de infraestructura son las industrias de fabricación de los objetos tecnológicos necesarios para la generación y distribución de ER. En Japón existen muchos productores de equipamiento para el aprovechamiento de ER, y en muchos casos, son empresas grandes con la posibilidad de

dedicar bastantes recursos a la I&D de nuevas tecnologías. Algunos ejemplos de fabricantes importantes son: Kiyocera y Fuji-Denki. No obstante la presencia de estas empresas y la creciente demanda de estas tecnologías tanto en el ámbito nacional como en el internacional, buena parte del mercado doméstico ha sido tomado por empresas extranjeras, chinas principalmente, debido a la competitividad de sus costos. Esta situación resalta el costo de oportunidad que se está pagando al apostar fuertemente por el desarrollo de tecnologías nucleares, dedicando muchos recursos a esta industria, en detrimento del desarrollo de otras tecnologías, como las relacionadas a las ER.

Es necesaria la presencia de empresas pequeñas o medianas que funcionen a nivel de una localidad o región para aprovechar las ER y difundir su uso. A diferencia de los grandes monopolios regionales, estas empresas requieren de marcos regulatorios y operativos que procuren un piso parejo para competir y que permitan cierto grado de autonomía para adaptarse a las necesidades y condicionantes de cada uno de los sitios de obtención de ER. La política energética debe atender a detalle y en distintas escalas las necesidades de un sistema como éste, por lo tanto, la centralización de las decisiones se convierte en un obstáculo más para la transición hacia un esquema distribuido. Un sistema de estas características requiere de estructuras descentralizadas capaces de atender las particularidades de cada región, prefectura y localidad.

3.3 SISTEMA FÍSICO

3.3.1 POTENCIAL LATENTE

Según estudios del Ministerio de Medio Ambiente¹¹⁹, el potencial de aprovechamiento de ER en Japón es bastante alto, incluso mayor que la demanda nacional de energía eléctrica. Es decir, en principio, existe la posibilidad de cubrir la demanda nacional de energía eléctrica por medio de fuentes renovables, aunque en la práctica, tal hazaña esté muy lejos de poder ser realidad. El potencial total que indica el estudio es de 2.06TW incluyendo energía solar, eólica, geotérmica e hidráulica de mediana y pequeña escala, sin considerar biomasa (tabla 3.5), mientras que, por ejemplo, el suministro de energía eléctrica de 2017 fue de 1,060TWh (tabla 1.4). Solo para tener una idea, Si se aprovechara la mitad del potencial con una eficiencia energética de 12%, se podría satisfacer esta demanda¹²⁰.

No obstante la existencia de dicho potencial, en la práctica se presentan algunas cuestiones que dificultan su aprovechamiento y que no se pueden soslayar. En primera instancia, aunque el estudio toma en cuenta factores técnicos para definir el potencial de cada región y área, no necesariamente en todos los casos es posible extraer la cantidad de energía que por unidad de superficie considera el estudio, debido a condiciones específicas de cada sitio; sería necesario analizar caso por caso para tener mayor precisión. En segundo lugar, no todo el territorio susceptible de ser sujeto de captación de energía puede ser dedicado a este fin, pues en muchos casos compite con otros usos, como la producción agrícola, por mencionar uno. Finalmente, está la dispersión de estas fuentes de energía y las dificultades tanto técnicas

¹¹⁹ 環境省「平成 27 年度再生可能エネルギーポテンシャルに関するゾーニング基礎情報整備報告書」

¹²⁰ $(2.055\text{TW}) / 2 \times (8760\text{hrs [en un año]}) \times 12\% = 1,080.1\text{TWh}$

como económicas que supone la transmisión de la energía de los sitios de captación a los de consumo. Esta última condición es la problemática inmediata que tiene por resolver la política energética para acceder a más fuentes de ER, el mayor de los retos. Políticas como el esquema FiT se han logrado superar o minimizar muchos de estos problemas, aunque por otra parte, otras políticas han limitado la cantidad de ER que se puede conectar al sistema energético.

Estas condicionantes han sido parte de discursos que justifican la lenta expansión de las ER, pero es importante tener en mente que, hasta ahora, los mayores impulsos y obstáculos para la expansión de las ER han sido las políticas y regulaciones al respecto. Cualquiera que sea la interpretación de dichas condicionantes, es un hecho que Japón cuenta con un potencial latente muy grande de ER que aún no aprovecha; y es importante notarlo pues se trata de la única fuente de energía doméstica con la que cuenta. De las fuentes consideradas como renovables, la energía eólica es la de mayor potencial 1.68TW (81.69%), seguida por la solar con 0.36TW (17.46%) y luego vienen las demás (tabla 3.5).

Un punto importante que notar es el potencial energético de algunas regiones como Hokkaidō o Tōhoku que supera la demanda regional de electricidad. Esta energía podría ser utilizada en otras zonas de alta demanda, como la región de Kantō. No obstante, como se trata más adelante, para poder utilizar la energía –no solo renovable– de alguna región en cualquier otra, es necesario contar con infraestructura suficiente que posibilite la transmisión energética. Para lograr este propósito, es necesario proveer los marcos regulatorios que propicien y den certidumbre a las inversiones requeridas para construir la infraestructura necesaria. Poder aprovechar el potencial energético de zonas como Tōhoku abriría la posibilidad de avivar las economías locales de zonas rezagadas o decadentes.

En este sentido, vale la pena recordar que la caída del sistema energético en Kantō y Tōhoku inmediatamente después del desastre nuclear de Fukushima, no es solo consecuencia directa de las fallas en la planta nuclear de Fukushima. Muchas otras fuentes de energía, principalmente de generación termoeléctrica, fueron afectadas por el terremoto y tsunami; y no fue posible transmitir energía de una región a otra por falta de infraestructura. No se trata solo de la falla del sistema nuclear, sino del sistema energético centralizado. Esto da cuenta de otro nivel de competencia entre estos modelos energéticos. Mientras en un modelo centralizado gran parte de la demanda depende de algunas pocas fuentes de generación, uno distribuido ofrece muchas más formas y rutas para responder a la caída de fuentes de generación. En términos de seguridad energética, esto es un punto a favor del sistema distribuido; aunque en la práctica esto no haya podido ser comprobado aún.

3.3.2 INFRAESTRUCTURA INSTALADA

En junio de 2019 la capacidad instalada para la generación de ER, registró un total de 58.3GW (固定価格買取制度, 2019). De las fuentes de generación de ER, la fotovoltaica es la que más se ha difundido y cuenta con 50.6GW instalados y en funcionamiento; esta cantidad representa casi el 87% del total, y de esta proporción, casi el 90% se reparte en instalaciones con capacidad superior a 10kW (固定価格買取制度, 2019). La mayor parte de este tipo de instalaciones (+10kW) son propiedad del sector industrial, que consiguientemente, ha resultado ser el mayor beneficiario del programa FiT. Considerando que la carga financiera del programa se reparte entre todos los consumidores, está situación ha sido uno de los problemas más importantes del sistema FiT, que como se observa más adelante, ha tratado de atenderse por la reforma del sistema FiT de 2017.

La cantidad de energía generada por fuentes renovables en 2017 alcanzó 69.5TWh, aproximadamente 8% de la mezcla energética de electricidad (sin contar la hidroeléctrica de más de 30MW). Entre 2013 y 2018 la capacidad se ha ido incrementando a ritmos acelerados, entre 150% y 120% anual. Con estos ritmos de crecimiento el uso de ER pasó de 18.11TWh en 2013 a 80TWh en 2018. En términos de proporción de la mezcla energética de electricidad, pasó de 3.5% en 2013 a 8% en 2017. Para alcanzar la meta del 22% en 2030, tomando en cuenta la generación hidroeléctrica, hace falta un 6% aproximadamente. Si se superan los problemas que se exponen más adelante y se mantienen los ritmos de crecimiento de los últimos años, existirán las condiciones de factibilidad para alcanzar este objetivo.

En otra comparación interesante, si se contrasta la capacidad instalada de ER de diciembre de 2018 (54.9GW), con la capacidad instalada de la industria nucleoelectrica en 1998 (50.5GW) –año en que disminuyó el ritmo de construcción de plantas nucleares en Japón–, se observa que la capacidad de las renovables ya es superior. Ahora, tomando en cuenta el desmantelamiento de 17 reactores entre 1998 y 2017, la capacidad de esta industria es de 41.5GW –aunque no todos estén en funcionamiento– (Tabla 2.1). Más aún, el potencial energético de fuentes renovables con aprobación para ingresar al esquema FiT pero que aún no entra en funcionamiento (en diciembre de 2018), es de casi 90GW; aunque no sea posible saber si todos estos proyectos pasarán realmente a fases de ejecución.

Una cuestión que hay que tener en cuenta, para hacer esta comparación entre potenciales de energías renovables y de energía nuclear, es la variabilidad de las ER. Por esta característica no es posible aprovechar el 100% de las capacidades instaladas de manera constante y por periodos de tiempo prolongados, a diferencia del suministro estable que puede generar la energía nuclear. Ergo, para igualar la carga de salida que puede procurar la energía nuclear,

es necesario que la capacidad instalada de las ER sea varias veces mayor. Y para aprovechar los excedentes en momentos de mayor generación es necesario contar con infraestructura para el almacenamiento de esta energía. Otro reto para la PEJ. No obstante, teniendo en mente los números presentados, el potencial de crecimiento de las ER y las vicisitudes que actualmente enfrenta la industria nuclear, puede observarse la ventaja que la inercia de las ER tiene frente a la energía nuclear. Otro aspecto fundamental dentro de este argumento son los avances en eficiencia energética y almacenamiento de energía¹²¹, que si bien actúan en favor de cualquier tipo de generación, son especialmente importantes para el aprovechamiento de las ER.

3.4 FACTIBILIDADES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS

La problemática en torno a la expansión del uso de las ER es compleja y multifactorial. En esta sección se presenta un análisis de algunos de los problemas técnicos y económicos más relevantes que se han presentado por, y para, expandir del uso de las ER, así como de las propuestas de solución y sus efectos.

3.4.1 COSTOS DEL SISTEMA FIT

Si bien el sistema FiT ha logrado incrementar la capacidad de generación de ER, por otra parte también ha generado una carga financiera al consumidor final a través de un impuesto que se cobra a los usuarios para cubrir los costos del programa. La carga fiscal de este impuesto

¹²¹ En tecnologías de eficiencia energética, Japón ha destacado como un líder mundial en las últimas décadas. Por otra parte, se está apostando fuertemente por el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía, como el hidrógeno, que dicho sea de paso, será una de las tecnologías insignia de los Juegos Olímpicos de Tokio 2020.

se reparte de manera *igualitaria*¹²² entre todos los consumidores, asignando una cuota por unidad de energía (kWh) utilizada. La forma de calcular la cuota es:

$$\text{Cuota fiscal unitaria (賦課金単価) [¥/kWh]} = (\text{ECT [¥]} - \text{ECCA [¥]} + \text{COO [¥]}) / \text{ECE [kWh]}^{123}$$

El primer año del programa (2012), el costo total real ascendió a ¥178.24 mil millones (\$1,620 millones USD), y en 2018 la cifra alcanzó su máximo con ¥3.06 billones (\$27,877 millones USD) (tablas 3.2). La tarifa fiscal por kWh para estos mismos años pasó de 0.22¥/kWh en 2012 a 2.90¥/kWh en 2018. En promedio, una vivienda japonesa consume 260kWh mensuales. Si tomamos en cuenta la cuota fiscal de 2012, la vivienda promedio pagó ¥57.2 mensuales (\$0.52 USD) y ¥686.4 (\$4.68 USD) por 9 meses¹²⁴. En 2018 estas cifras fueron ¥754 (\$6.85 USD) mensualmente y ¥9,048 (\$82.25 USD) por 12 meses (tablas 3.4).

Como se aprecia, la diferencia tarifaria entre 2012 y 2018 es grande, pero es relevante notar que los incrementos más importantes se dieron entre 2012 y 2017, antes de la reforma del sistema FiT (2017). Mientras que la cuota fiscal pasó de 0.22¥/kWh en 2012 a 2.64/kWh en 2017, en 2018 la tarifa fue de 2.90¥/kWh y en 2019 será de 2.95¥/kWh (tablas 3.4). Ahora, si se suman los costos promedio anuales por vivienda, entre 2012 y 2019, se puede observar que la carga económica del programa FiT ha sido de ¥42,385.20 (\$385.32 USD) por vivienda

¹²² Como se observó anteriormente, la energía solar en plantas de más de 10kW cubren cerca del 80% por lo que han sido los mayores beneficiarios del programa. No obstante, esto puede ser visto como uno de los costos necesarios para difundir el uso de ER.

¹²³ Dónde: ECT = Estimación del Costo Total del programa FiT; ECCA = Estimación del Costo de Combustibles Ahorrados por la generación de energías renovables; COO = Costos de Operación de la Organización investigadora de los costos del programa FiT (費用負担調整機関事務費) y; ECE = Estimación del Consumo Total de Electricidad. (<https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190322007/20190322007.html>)

¹²⁴ En este caso son 9 meses pues el año fiscal comienza en abril y el programa comenzó en julio de 2012.

promedio; i.e., un promedio anual de ¥5,298.15 (\$48.17 USD). De esta carga financiera puede decirse que ha sido el costo —o una parte del costo— de la transición energética de Japón. La evolución de esta tarifa no es fácil de predecir pues depende de muchos factores. A manera de ejercicio, se utiliza una predicción de crecimiento del 5% anual de esta tarifa, acorde con los últimos dos años, aunque sin considerar su tendencia a la baja. Los resultados muestran que la carga financiera por vivienda desde 2012 hasta 2030 sería de ¥179682,000 (\$1,633 USD), poco menos que el sueldo en Japón de un recién egresado de la universidad (tablas 3.4).

Entre los factores que intervienen en la definición de la tarifa, además de los que operan directamente en la fórmula de cálculo, hay dos sobre los que vale la pena ahondar más. Uno es la temporalidad de los contratos FiT que garantizan los precios de compra fijos por 10 o 20 años. El programa FiT comenzó en 2012, sin embargo, a partir de 2009 se aplicó un programa FiT *residencial* para energía solar; como todas las instalaciones menores a 10kW (de energía solar) cuentan con 10 años para mantener dicha cuota, los que comenzaron en 2009 terminarán en noviembre este año. De esta manera, año con año, comenzarán a expirar contratos y consiguientemente, se irá aligerando la carga financiera del programa. Cuando el periodo de precio fijo termina, la energía se comprará y venderá a precio de mercado.

El caso de los primeros contratos que expiran en 2019 ha sido conocido como “el problema de 2019”, debido a las confusiones que se pudieran presentar entre los usuarios. La tarifa FiT establecida para los contratos de 2009, fue de 48¥/kWh, y a partir de noviembre de 2019 su valor de venta será de unos 8¥/kWh, o un poco más dependiendo de las condiciones y contratos que ofrezcan las distribuidoras de electricidad. Otra opción es almacenar los excedentes en baterías, aprovechando que también se abaratan rápidamente, para utilizar esa energía durante la noche o cuando sea necesario. Si bien la confusión que pudiera generar esta

situación puede ser un problema, también será una oportunidad para observar los cambios y las tendencias que surgen con respecto al uso de estas fuentes de energía ya sin el subsidio. Ergo, debe ser considerada como una oportunidad para aprender y ajustar.

El segundo factor es el impacto que tendrá la separación de la generación-transmisión-distribución de energía, que entrará en vigor en 2020. Esta medida coadyuvará a modificar los modelos de negocios en el sector energético, en especial, es pieza clave para transformar el sistema monopólico regional de las compañías de electricidad. Por lo tanto, el efecto de este cambio también debería sentirse en los costos de producción de ER, de manera positiva, es decir, con los costos a la baja; aunque no necesariamente disminuirán los costos del sistema FiT, si es que este cambio trae consigo una nueva ola de expansión del uso de las ER.

3.4.2 COSTOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Durante los últimos 40 años, en el mundo, las ER han ido ganando competitividad conforme su uso se extiende y los mercados e industrias se expanden. Las causas más importantes de la reducción de los costos han sido las mejoras en eficiencia energética y las políticas –como la del sistema FiT– que han ayudado a expandir el mercado de estas tecnologías (Kavlak, McNerney, & Trancik, 2018).

El caso japonés no es la excepción, sin embargo, los costos de las ER aún no son tan competitivos como en otras partes del mundo; las causas son diversas, pero entre las más significativas están el costo de la mano de obra y la tardía implementación –con respecto a otros países– de una política comprehensiva para este fin. No obstante, tanto el gradual crecimiento del mercado interno como el impulso de estas tecnologías en el exterior han contribuido a que los precios de las ER disminuyan de manera considerable.

En términos de precio por unidad de energía, tanto la energía eólica como la solar destacan por su competitividad. En el caso de las instalaciones solares de más de 10kW, el costo de generación en 2019 fue estimado en ¥14/kWh; si se compara con el costo de 40/kWh en 2012 –al inicio del programa FiT– se nota el amplio progreso de la reducción del costo en menos de una década. Por otra parte, las instalaciones de más de 2MW de capacidad son definidas por subastas, y los costos son mucho menores. En el caso de las instalaciones menores a 10kW, el costo unitario de ¥42/kWh en 2012 pasó a ¥24/kWh en 2019 (tablas 3.3).

En tanto a la energía eólica, si bien no se ha registrado una reducción de costos tan relevante, el precio unitario al principio del programa FiT (2012) ya era bastante competitivo (¥22/kWh en instalaciones de más de 20kW). Además, es necesario tomar en cuenta que esta fuente de generación es la que tiene un mayor potencial de aprovechamiento, y hasta ahora se ha explotado muy poco en comparación con la energía solar. Es de esperar que al aumentar su participación, se incremente la demanda y los costos en general disminuirán. Para apreciar de otra manera la tendencia que observa la ganancia en competitividad de las ER, hay que tomar en cuenta los costos unitarios de otras fuentes –petróleo, gas, carbón y nuclear– que varían entre los ¥10/kWh y los ¥14/kWh. Aunque estos precios no toman en cuenta muchos factores, como se observó en el capítulo anterior. Tan solo en el plano de los costos, es evidente cómo se han acercado las ER a las fuentes tradicionales.

3.4.3 PROBLEMAS DE CONECTIVIDAD

En Japón, uno de los principales obstáculos para las ER ha sido la conectividad de estas fuentes de energía a las redes de transmisión existentes, diseñadas originalmente para un funcionamiento distinto al que requiere un sistema que integra grandes cantidades de ER. Una

causa es la *variabilidad* de las ER que, sin las medidas adecuadas, puede ocasionar un *desequilibrio* en la frecuencia de transmisión y en casos extremos devenir en apagones totales o *blackouts*. Otras causas son la imposibilidad de transmitir energía eléctrica *río arriba*, es decir, de redes de distribución de bajo voltaje a redes de transmisión de alto voltaje y, la reducida capacidad de transmisión interregional. Por lo tanto, los problemas de conectividad se presentan en distintos niveles del sistema energético de Japón y, como resulta evidente, son herencia del sistema energético centralizado.

Las regulaciones vigentes al respecto no estimulan la pronta implementación de las modificaciones necesarias, pues dejan a las empresas de ER con la responsabilidad de absorber los costos de instalación y modificación de la infraestructura de transmisión, y no atribuyen ninguna obligación a las compañías regionales de electricidad, propietarias de dicha infraestructura (竹濱, 2016). Ahora, es natural que las líneas de transmisión y la conexión desde los sitios de generación hasta el punto de interconexión más cercano de la red municipal sea responsabilidad de quien se conecta. Sin embargo, cuando se trata de modificar o incrementar las capacidades, ya de los puntos de conexión, ya de las redes municipales o regionales, la carga económica que esto representa para una PyME puede ser excesiva. No obstante, la normatividad actual no contempla la participación de otros actores para repartir esta carga económica.

Por otra parte, para conectarse a alguna red de transmisión, las empresas de ER deben, en primera instancia, obtener el visto bueno del METI para ingresar al programa FiT, y luego colocar su solicitud de venta de energía a las compañías regionales de electricidad, quienes aún mantienen el monopolio de la transmisión y distribución de energía eléctrica. Por lo tanto,

las compañías regionales de electricidad son las encargadas —en última instancia— de aprobar las solicitudes de conexión, y un argumento recurrente para *diferir* estas solicitudes es el riesgo de conectar *grandes* cantidades de energía variable (ER), y al no tener ninguna obligación para incrementar las capacidades de recepción de energía, establecen límites de conexión de ER a sus redes de transmisión. Esta situación originó el llamado problema de *diferimiento* de conexión, cuando Kyūden¹²⁵ anunció en un comunicado que tendría que diferir una gran cantidad de solicitudes de conexión. La respuesta por parte de las autoridades fue crear un grupo de trabajo¹²⁶ para atender el problema; la propuesta de este grupo de trabajo fue limitar la conexión de ER al equivalente de 30 días, lo que evidentemente no se solucionó el problema.

Si bien es cierto que un suministro variable de energía puede afectar las frecuencias de transmisión del sistema y poner en riesgo su funcionamiento, también es cierto que este riesgo se puede contrarrestar mediante diversas medidas técnicas. Algunos ejemplos importantes son el control de la variabilidad del suministro mediante su *agregación*; la provisión de fuentes de energía de reserva para equilibrar el suministro y la demanda; el almacenamiento de energía (baterías de litio, hidrógeno); el incremento de la capacidad de transmisión de las redes y del equipamiento correspondiente y; el empleo de tecnologías de la información para automatizar el control del flujo eléctrico (smart-grid). Algunas de estas medidas, no obstante, requieren de inversiones importantes para el desarrollo de infraestructura y/o se encuentran en fases iniciales de desarrollo o implementación, por lo que a pesar de contar con las posibilidades técnicas para superar este problema, son necesarias políticas que coadyuven a mitigar los riesgos tanto económicos como tecnológicos que conllevan. Aunque en Japón existan las bases industriales

¹²⁵ La compañía regional de electricidad de Kyūshū. Kyūshū Electric. 九州電力.

¹²⁶ Keitō Workig Group

y tecnológicas para enfrentar esta problemática, es necesaria la actuación desde la política energética para promover una acción conjunta que minimice los riesgos y acelere los procesos de integración tecnológica.

En tanto a la problemática que dificulta la transmisión de energía proveniente de fuentes renovables de una región a otra, las causas resultan ser similares, en el sentido de que las regulaciones no definen mecanismos suficientes para la construcción o modificación de la infraestructura existente más allá de colocar la responsabilidad en las compañías que se conectan. Este problema se presenta en dos vertientes; la primera es que la capacidad de transmitir energía de una región a otra está limitada por la falta de infraestructura y por la diferencia de frecuencias de transmisión entre la mitad oriente y la mitad poniente del país. La relevancia de esta condición fue apreciada en su verdadera dimensión cuando se perdieron plantas energéticas y líneas de transmisión por el gran terremoto y tsunami de Tōhoku, y no fue posible transmitir energía de otras regiones para aliviar la caída del suministro energético en las regiones de Kantō y de Tōhoku. Al respecto, se han tomado medidas bajo la jurisdicción de OCCTO –que para ello fue creada–, aunque los planes de nueva infraestructura actuales no serán suficientes en el largo plazo para atender el problema de manera integral.

La segunda vertiente de esta problemática es la imposibilidad de transmitir electricidad de manera bidireccional, para transmitir excedentes de energía en redes de baja tensión a redes de alta tensión. Desde el punto de vista técnico, las instalaciones existentes funcionan en un solo sentido –río abajo–, es decir, la corriente se transmite transformándose de voltajes superiores a inferiores hasta llegar a los voltajes de distribución (竹濱, 2016). La operación contraria es necesaria para que los excedentes de energía en una red de distribución o de

transmisión puedan ser enviados a zonas o regiones distantes donde se pueda aprovechar. Para lograrlo, se requiere de la infraestructura que posibilite esta operación. En Japón, la corriente proveniente de fuentes renovables se transmite en redes de 154kV, 66kV y 6.6kV; de estas redes la corriente pasa a líneas de distribución de bajos voltajes: 200V y 100V. Cuando la cantidad de ER es suficiente para satisfacer la demanda de las redes de distribución local, los excedentes podrían ser transmitidos a localidades más lejanas, para lo cual, en ocasiones sería necesario utilizar infraestructura que ahora no existe, para transformar las corrientes a voltajes de alta tensión (275kV) y alta tensión especial (500kV) (竹濱, 2016).

En conjunto, los problemas de conectividad para las ER son una herencia del sistema centralizado, y aunque se trata de una problemática compleja, destacan dos cuestiones importantes que dificultan la expansión de las ER. La primera se trata de la modernización tecnológica del sistema de transmisión y los costos que esto implica. Para permitir que el sistema de ER continúe extendiéndose es necesario posibilitar la inclusión de una mayor cantidad de energía variable al sistema y la transmisión bidireccional de energía eléctrica. Esto último, en dos sentidos, primero, para que todos los pequeños productores de energía puedan tanto recibir como transmitir electricidad del sistema y al sistema; y segundo, que la corriente pueda ser convertida de voltajes inferiores a superiores, para posibilitar la transmisión de excedentes de energía a sitios lejanos donde se requiera.

La segunda cuestión es la necesidad de crear marcos regulatorios que promuevan las inversiones en estas áreas del sector energético. Si bien la reforma del sistema FiT de 2017 ya contempla algunos aspectos para contribuir a la transformación del sistema energético, sus resultados en la práctica aún están por verse. Asimismo, al igual que en puntos anteriores, es

necesario observar que pueden esperarse importantes contribuciones de la separación de la generación-transmisión-distribución de energía que entrará en vigor en 2020.

Por otra parte, la inercia del sistema energético centralizado que se basa en el uso de fuentes tradicionales de energía, continuará jugando un papel importante en distintos ámbitos de la política energética de Japón. Más aún, tomando en cuenta que la dependencia energética en combustibles fósiles continuará siendo una realidad, por lo menos a corto y mediano plazo. Por lo tanto, aún es muy temprano para observar la eficacia de las reformas establecidas en los últimos años. No obstante, tanto la tendencia a la baja de los costos de las ER, como la continuidad de las políticas que han impulsado el desarrollo del sistema de ER, permiten argumentar que continuará el crecimiento y expansión de estas fuentes de energía.

3.5 ¿PUEDE CUBRIRSE LA DEMANDA DE ELECTRICIDAD CON FUENTES RENOVABLES?

Desde la década de 1970 se han implementado políticas para introducir y difundir el uso de estas energías; pero estas políticas no tuvieron la suficiente continuidad ni un enfoque integral para difundir y consolidar el uso de energías renovables. Por otra parte, durante décadas, el uso de estas energías ha sido promovido por grupos y comunidades que se pronunciaban en favor de la desnuclearización del sistema energético y del uso de energías más limpias, aunque su alcance normalmente sea local y de pequeña escala. Las cumbres de Río, el Protocolo de Kioto –y posteriormente los Acuerdos de París– fueron eventos que incrementaron el interés por utilizar más energías renovables y engendraron compromisos para el gobierno japonés. Sin embargo, la posibilidad de seguir produciendo energía *barata* y con altos márgenes de utilidad, procuró la permanencia inalterada del régimen energético japonés.

El resultado fue una expansión limitada del uso de energías renovables, tan solo como elementos periféricos del sistema energético existente.

No obstante la inercia del régimen energético, la PEJ ha colocado el desarrollo de fuentes renovables de energía –y la construcción de un sistema energético distribuido– como un elemento prioritario debido a las siguientes razones, principalmente: primero, no es posible soslayar el hecho de que las energías renovables son en realidad la única alternativa 100% doméstica con la que cuenta Japón para disminuir su dependencia energética en el exterior – además de contar con fuentes abundantes–. Segundo, las debilidades estructurales del sistema energético exhibidas tras el gran terremoto de Tōhoku y el desastre nuclear de Fukushima, mostraron la necesidad de modificar las estructuras físicas centralizadas del sistema energético. Tercero, los cambios tecnológicos y geopolíticos dentro y fuera de Japón, que han contribuido a incrementar la competitividad de estas fuentes de energía y que han derivado de la expansión de los mercados de estas energías.

En Japón, la difusión del uso de las energías renovables comenzó a tener buenos resultados tras la implementación del sistema FiT (2012) y con la liberalización del mercado minorista (2016). Es de esperar que la expansión del uso de estas energías continúe con los cambios normativos que entrarán en vigor en 2020: la separación de la generación, la transmisión y la distribución de energía y; cambios en las leyes que permiten prácticas monopólicas en el sector. Estas medidas y cambios, en conjunto con el aumento de la participación de las ER en la mezcla energética de Japón, son un paso hacia la transformación del sistema energético, hacia uno que permita incorporar una cantidad creciente de energías renovables: la primera fase de la transición energética de Japón. No obstante, estas medidas y

cambios por sí mismos no garantizan la materialización de una transición completa hacia un sistema energético distribuido.

Aún son muchos los retos que enfrenta la posible transición energética. En primer lugar, la herencia –y presencia– de un sistema centralizado de toma de decisiones, en el que intervienen intereses no necesariamente acotados a la política energética y que ha fallado en atender las necesidades de los nuevos actores del sistema energético, como son las empresas de generación de energías renovables. Segundo, y derivado de lo anterior, los retos tecnológicos y financieros que la transformación del sistema energético comporta. Si bien el programa FIT ha contribuido a incrementar el uso de energías renovables y disminuir su costo, también ha generado una carga financiera para los usuarios del sistema energético; por otra parte, hasta ahora, la mayor parte de la carga financiera que representa la transformación y adaptación de la infraestructura existente, se ha colocado en las pequeñas y medianas empresas de generación de energías renovables. Así, la carga financiera no ha sido repartida equitativamente entre los actores del sistema, sino que se ha puntualizado sobre algunas de sus elementos más débiles, por lo que se ha prolongado la existencia de dificultades técnicas. En el ámbito de cargas financieras, se puede argumentar que es distinta la naturaleza de los subsidios que recibe la industria nuclear de los que reciben las empresas de energías renovables. Mientras que una parte de los subsidios que recibe la primera son para mantener las opiniones a favor del uso de esta fuente de energía, los subsidios para las energías renovables son para promocionar su desarrollo y crecimiento. El uso de subsidios para la industria nuclear es, por lo tanto, un gasto perenne; mientras que los subsidios para las energías renovables son una inversión, en todo caso, un gasto temporal que ha dado buenos resultados. Además, hay que señalar que es muy sencillo acceder a la información sobre los costos del

programa FiT, toda reunida en una página web ¹²⁷ ; mientras que sería una labor extremadamente complicada compilar y agregar la información sobre los múltiples subsidios que recibe la industria nuclear. La transparencia en la información parece ser uno de los puntos fuertes de un sistema que incorpore más fuentes renovables.

La cantidad de energías renovables que puede extraer Japón en su territorio es suficiente para satisfacer su demanda, pero para incrementar su utilización, es necesario que el sistema se transforme. A partir de ahora, los alcances de los cambios del sector energético dependerán de las acciones y políticas que se implementen para superar los obstáculos que se presentan. Las energías renovables son la única fuente energética doméstica y abundante en Japón, y por lo tanto, también son una de sus pocas cartas geopolíticas en el ámbito energético. Son muchos los retos y los obstáculos que hay que superar para establecer un nuevo modelo energético que priorice el uso de estas fuentes, mas son también muchos las motivaciones –y los *motivados*– para concretar esta transición energética. Otro factor a favor de las energías renovables que jugará un papel importante en este sistema de fuerzas, es el desarrollo de estas fuentes de energía en otras partes del mundo. Mientras más se desarrollen y se expandan en los mercados, estos sistemas tecnológicos serán más baratos y mayores serán los incentivos para implementarlos en Japón.

El objetivo en el horizonte para la transición energética, es un sistema energético distribuido que contribuya a: mejorar la seguridad energética de Japón; reavivar las economías locales de regiones decadentes y alejadas de las zonas urbanas donde se concentra el desarrollo; fomentar el crecimiento de nuevas industrias de alto valor agregado y; distribuir la

¹²⁷ Se puede acceder a esta información desde el portal FiT: <https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>

toma de decisiones en materia energética –por principio– para que más actores promotores de los intereses locales puedan ingerir en el curso de la PEJ.

4.0 CONCLUSIONES

La competencia entre las energías renovables y la energía nuclear se libra en distintos ámbitos, como en la política energética (PEJ), en las estructuras organizacionales que regulan y operan los sectores del sistema energético, en la confianza de los ciudadanos, en el plano económico y tecnológico. Para poder analizar el rumbo de esta competencia, la posición que ocupan estas fuentes de energía en la PEJ y las posibles resultantes del sistema de fuerzas que aquí actúa, se analizan algunos de los componentes de los sistemas socio-tecnológicos que inscriben a estas fuentes de energía. Las conclusiones son las siguientes:

Del estudio de los componentes del sistema nucleoelectrico se observa que esta fuente de energía no contribuye a la atención de los problemas estructurales que identifica la PEJ. Al no ser una fuente energética doméstica, no abona –en estricto sentido– a aliviar la dependencia energética; y a pesar de que contribuye a la *descarbonización* del sistema energético, los riesgos y problemáticas que su uso conlleva han demostrado ser mayores que los riesgos y problemáticas que se pretenden mitigar y atender mediante su uso. Si bien esta fuente de energía llegó a proporcionar un alto porcentaje de la energía eléctrica en Japón y sirvió como una fuente para la diversificación de la mezcla energética, por otra parte, su uso ha implicado altos costos económicos, ambientales y una catástrofe nuclear derivada de fallas institucionales y errores humanos. Además, al contar con alternativas, el estudio concluye que el uso de la energía nuclear no es indispensable –ni deseable como fuente de diversificación– para el sistema energético japonés. No obstante, también se dio una breve cuenta de los intereses tanto económicos como estratégicos que propugnan mantener en funcionamiento la industria

nuclear y el ciclo de combustible, aunque estos no necesariamente estén alineados con las necesidades del sistema energético japonés.

En cuanto al estudio de los componentes del sistema de energías renovables, se observa que el crecimiento de este sistema tecnológico en los últimos años ha sido bastante importante. Las políticas implementadas a partir de 2009, en especial el programa FiT que inició en 2012 y la liberalización del mercado energético minorista (2016), han dado buenos resultados atrayendo inversiones, expandiendo los mercados y finalmente incrementando la proporción de estas fuentes en la mezcla energética. Esto ha derivado en una espiral positiva donde se promueve el cambio tecnológico, la competitividad de estas fuentes en el mercado y el abaratamiento de las energías renovables. Por otra parte, a pesar del potencial energético que existe en Japón, principalmente en energía eólica, existen muchos retos técnicos y financieros que superar para posibilitar una mayor *conectividad* de energías variables a las redes del sistema energético. En especial, este estudio advierte que los mayores desafíos son la construcción de nueva infraestructura y la modificación de la normatividad que propicie condiciones favorables para este fin. La herramienta más importante para superar estos problemas es la elaboración de una política que fomente y dé certidumbre a las inversiones en el sector.

La competencia entre estas las energías renovables y nuclear, entonces, se presenta en diversas dimensiones y no siempre se da en términos de igualdad. En la PEJ, ambas fuentes de energía ocupan un lugar prioritario, sin embargo, son las energías renovables las que tienen mayor capacidad de aportar a la atención de los problemas que la propia PEJ identifica. Por otro lado, la energía nuclear se le caracteriza como indispensable, aunque no lo sea. En este sentido, son las estructuras organizacionales que definen la PEJ, y los intereses que operan

sobre éstas, lo que obra a favor de la energía nuclear. Mientras que todas las estructuras organizacionales que regulan el uso de las energías renovables están subordinadas al METI, los organismos que regulan la industria y la política nuclear siempre han tenido igual o mayor jerarquía que dicho ministerio. Desde el punto de vista tecnológico, es el carácter dual de las TNS lo que le brinda un sitio prioritario en la PEJ a la energía nuclear.

La PEJ no puede tratar las TNS en sus enunciados, pero plantea la dependencia energética como la principal razón para mantener el uso de la energía nuclear. Sin embargo, como se argumenta en este estudio, si se entendiera la dependencia energética como el resultado de procesos de desarrollo y no como un problema estructural, perdería fuerza el argumento de la dependencia para buscar implementar cualquier propuesta de solución, por costosa o riesgosa que sea. Más aún, si se considera el potencial latente de energías renovables que existe en Japón, el problema estructural que surge es la falta de infraestructura adecuada para aprovechar dicho potencial, y el argumento de la dependencia energética por falta de recursos domésticos se debilita aún más.

En torno a la confianza de los ciudadanos, ambos sistemas tecnológicos tienen un largo camino por recorrer. No obstante, después de tantos *accidentes* y escándalos de corrupción, y en especial después del desastre nuclear de Fukushima y la problemática que aún persiste, es la industria nuclear la que presenta una enorme desventaja aquí.

Es en el plano tecnológico y comercial donde puede observarse el comienzo de la transición energética hacia un modelo distribuido. Las características de las energías renovables, que abonan a la independencia energética de Japón y a los compromisos internacionales en materia de medio ambiente, motivaron finalmente a la implementación de

políticas que han propiciado el crecimiento, desarrollo y difusión de este sistema tecnológico. Si bien ha sido costosa la implementación de políticas como el programa FIT, puede considerarse como parte del costo de la transición hacia un nuevo modelo energético que procure una mayor seguridad energética para Japón. Conforme los elementos de este sistema tecnológico continúen ganando en competitividad y espacio habrá más oportunidades para que se desplieguen sus cualidades¹²⁸, de las que su aprovechamiento dependerá el grado de avance de la transición energética.

Aunque cada uno de estos sistemas tecnológicos presente ventajas y desventajas con respecto uno del otro, son factores económicos, tecnológicos y de confianza, los que le brindan un sitio prioritario a las energías renovables en la PEJ. Mientras que, para la energía nuclear es la jerarquía de las estructuras institucionales que le cobijan y sus cualidades como sistema tecnológico dual lo que la pone en las prioridades de la PEJ. En un sistema energético centralizado, la energía nuclear siempre tendrá una gran ventaja sobre las energías renovables, a diferencia de lo que se esperaría en un sistema energético distribuido. Si bien estas fuentes de energía pueden coexistir, es el modelo energético (centralizado o distribuido) lo que definirá –en principio– el ritmo y alcance de expansión de estas fuentes de energía.

La conclusión, conforme a esta caracterización del campo de la competencia entre estas fuentes de energía, es que la transición energética será conducida por mejoras tecnológicas y en materia de competitividad de las energías renovables, mientras que el sistema energético centralizado y sus estructuras organizacionales tratarán de desacelerar este proceso para darse

¹²⁸ Por ejemplo, la activación de economías locales y regionales en torno a la industria energética; una mayor autonomía energética y administrativa para las localidades y regiones del país; entre otras.

oportunidad de adaptarse a él y de mantener el uso de la energía nuclear. Aunque la transición será un proceso lento, existen algunos elementos que pueden producir cambios abruptos¹²⁹, por lo que habrase de mantener una lupa sobre ellos. Estos elementos son: la planta de reprocesamiento de combustible nuclear exhausto de Rokkasho; la competitividad de las energías renovables en Japón y en otras partes del mundo; los cambios tecnológicos en torno a estos dos sistemas tecnológicos¹³⁰ y; el desarrollo de una nueva geopolítica en torno a los recursos energéticos renovables, principalmente al viento y al sol.

Finalmente, es menester mencionar que aunque no es posible conocer el resultado final – la profundidad– de la transición energética y sus efectos, mucho se espera de ésta, y mucho hay que esperar de ella. No solo por sus contribuciones a la independencia energética de Japón, a la estabilidad de los precios de la energía, a la *descarbonización* del sistema energético y a la seguridad energética en general; sino también, por la posibilidad de desplazar el sistema nuclear de la PEJ, o por lo menos, de modificar sus estructuras y *modus operandi*¹³¹. Como se muestra en este estudio, las decisiones entorno a las políticas energética y nuclear se toman por instituciones cuyas estructuras organizacionales no permiten o minimizan la injerencia de terceros, y transigen la evasión de responsabilidades de los funcionarios que las integran. Ante los riesgos que supone esta industria, y sobre todo ante la situación que persiste en Fukushima, derivada del derretimiento (melt-down) y penetración (melt-through) de combustible nuclear en los reactores 1, 2, 3 4 de la planta de Fukushima Daiichi, es necesario que las autoridades y TEPCO asuman la responsabilidad de sus decisiones. Aun si la transición energética no es lo

¹²⁹ En sentido a favor o contrario a la transición energética planteada.

¹³⁰ Tanto en el sistema nuclear como en el de las energías renovables.

¹³¹ En especial, aquí hay que pensar en la práctica común que solicita el entendimiento y sacrificio de los ciudadanos por el bien nacional; aunque los beneficiarios suelen ser solo algunos cuantos, como se da cuenta en este trabajo.

suficientemente profunda para construir nuevas estructuras organizacionales que definan la PEJ, y aun si se mantiene el uso de la energía nuclear en el sistema energético, habrá habido un gran logro si esta transición es capaz de propiciar cambios en la forma de tratar la información, de tomar las decisiones y de asumir las responsabilidades en la industria energética. Si además, la transición a un sistema energético distribuido posibilita algunos de los cambios que se tratan en este trabajo –como la reactivación de economías y creación de nuevas industrias locales; una mayor autonomía en materia de toma de decisiones a escala local y regional–, el resultado sería un cambio de paradigma en el sector energético y, probablemente, un ejemplo para otros sistemas energéticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Chūbuden. (2019). *Chūbu Electric*. Obtenido de <http://www.chuden.co.jp/index.html?ceid=gn>
- Chūden. (2019). *Chūgoku Electric*. Obtenido de <http://www.energia.co.jp/index.html>
- CNIC. (14 de 02 de 2007). *最終処分地選定に応募した東洋町のその後の動き*. Obtenido de <http://www.cnic.jp/485>
- CNIC. (27 de 2 de 2015). *CNIC*. Obtenido de “Not Again”: Yet Another TEPCO Scandal Nuke Info Tokyo 117: <http://www.cnic.jp/english/?p=1084>
- CNIC. (s.f.). *とめよう！六ヶ所再処理工場*. Obtenido de <http://www.cnic.jp/knowledgeidx/rokkasho>
- EGC. (2018). *電力・ガス取引監視等委員会*. Obtenido de Electricity and Gas Market Surveillance Commission: <https://www.emsc.meti.go.jp/committee/>
- Ellis, E. (2018). *Anthropocene: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Goodman, H. (1982). Japan and the World Energy Problem. En D. Okimoto, *Japan's economy : coping with change in the international environment* (pág. xxxxxxxxxxxx). Boulder, Colorado: Westview.
- GWEC. (2006). *Global Wind Energy Council*. Obtenido de Global Wind Energy Report 2006: https://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/gwec-2006_final_01.pdf
- Hokuden. (2019). *Hokuden*. Obtenido de <http://www.hepco.co.jp/index.html>
- INPEX. (2019). *国際石油開発帝石株式会社*. Obtenido de <https://www.inpex.co.jp/index.html>
- JAPC. (2019). *日本原子力発電株式会社*. Obtenido de <http://www.japc.co.jp/company/overview/history.html>
- JAPEX. (2019). *石油資源開発株式会社*. Obtenido de <https://www.japex.co.jp/company/history.html>
- JGC Holdings Corp. (2019). *JGC Holdings Corp*. Obtenido de <https://www.jgc.com/jp/about/history.html>
- JNFL. (s.f.). *日本原燃*. Obtenido de <https://www.jnfl.co.jp/ja/company/history/>
- JOGMEC. (2019). *石油天然ガス-金属鉱物資源機構*. Obtenido de <http://www.jogmec.go.jp/index.html>
- Johnson, C. (1982). *MITI and the Japanese miracle : the growth of industrial policy, 1925-1975*. Stanford: Stanford University.

- J-Power. (2019). *日本電源開発*. Obtenido de http://www.jpower.co.jp/company_info/history/
- Kavlak, G., McNerney, J., & Trancik, J. E. (12 de 2018). Evaluating the Causes of Cost REduction in Photovoltaic Modules. *Energy Policy Vol. 123*, págs. 700-710.
- KEPCO. (2019). *KEPCO*. Obtenido de <https://www.kepco.co.jp/>
- López Villafañe, V. (2015). Japón después de ser el número uno. En V. López Villafañe, & C. Uscanga Prieto, *Japón después de ser el número uno: del alto crecimiento al rápido envejecimiento*. Ciudad de México: Siglo XXI.
- Nakamura, T. (1990). *Economía japonesa: estructura y desarrollo*. Ciudad de México: El Colegio de México.
- NEDO. (2019). *新エネルギー・産業技術総合開発機構*. Obtenido de <https://www.nedo.go.jp/introducing/kihon.html>
- NHK. (6 de 10 de 2019). *関電金品受領問題 金額は記憶頼り 総額増える可能性も*. Obtenido de <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20191006/k10012114801000.html>
- OCCTO. (10 de 2018). *電力広域的運営推進機関*. Obtenido de https://www.occto.or.jp/occto/about_occto/aisatsu.html
- Okiden. (2019). *Okinawa Electric*. Obtenido de <https://www.okiden.co.jp/>
- Osaka Gas. (2019). *Osaka Gas*. Obtenido de https://www.osakagas.co.jp/en/aboutus/our_history/index.html
- Pollio, G., & Uchida, K. (1999). Management Background, Corporate Governance and Industrial restructuring: The Japanese Upstream Petroleum Industry. *Energy Policy*, págs. 813-832.
- Rikuden. (2019). *Hokuriku Electric*. Obtenido de <http://www.rikuden.co.jp/index.html>
- Samuels, R. J. (1987). *The Business of the Japanese State: Energy Markets in Comparative and Historical Perspective*. Ithaca, N.J.: Cornell University.
- Samuels, R. J. (1994). *Rich Nation, Strong Army*. Ithaca, N.J.: Cornell University.
- TEPCO. (2019). *TEPCO*. Obtenido de <https://www4.tepco.co.jp/index-j.html>
- Tōhokuden. (2019). *Tōhokuden*. Obtenido de <http://www.tohoku-epco.co.jp/index.html>
- Tokio Gas. (2019). *Tokio Gas*. Obtenido de <https://www.tokyo-gas.co.jp/Annai/kaisha/>
- World-Nuclear Organization. (Agosto de 2019). *World Nuclear Organization*. Obtenido de <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/japan-nuclear-power.aspx>

- Yonden. (2019). *Shikoku Electric*. Obtenido de <https://www.yonden.co.jp/index.html>
- もんじゅ君. (2013). *さよなら、もんじゅ君*. 東京: 小野寺優.
- 佐高信. (2011). *電力と国家*. 東京: 集英社新書.
- 八ッ橋, 武. (10 de 1 de 2015). 再生可能エネルギーにおける日本の位置. *特集 エネルギー政策を考える*.
- 吉岡, 齊. (2011). *原子力社会史 - その日本的展開*. 朝日選書.
- 固定価格買取制度. (29 de 10 de 2019). *FiT portal*. Obtenido de 固定価格買取制度 情報公表用ウェブサイト: <https://www.fit-portal.go.jp/PublicInfoSummary>
- 大島, 堅. (2011). *原発は安くない*. 岩波書店.
- 大島, 堅. (2016). 分散型エネルギーシステムへのパラダイムシフト. En 堅. 大島, & 洋. 高橋, *地域分散型エネルギーシステム* (págs. 11-16). 日本評論社.
- 安田, 陽. (2016). 再生可能エネルギー普及と電力システムの技術的課題. En 堅. 大島, & 洋. 高橋, *地域分散型エネルギーシステム* (págs. 115-146). 日本評論社.
- 小森, 敦. (23 de 9 de 2019). *朝日新聞 Digital*. Obtenido de 福島第一事故の対応に最大81兆円シンクタンクが試算: <https://www.asahi.com/articles/ASM3943DYM39ULFA002.html>
- 川田, 俊. (19 de 5 de 2019). *朝日新聞 Digital*. Obtenido de 原発を狙ったテロどう防ぐ? 対策遅れ、9基が運転停止も: <https://www.asahi.com/articles/ASM4Y4DNMM4YUPQJ001.html>
- 日刊スポーツ. (5 de 3 de 2019). *DASH村の今「思いかけ離れていく」提供者の叫び*. Obtenido de <https://www.nikkansports.com/general/nikkan/news/201903040000397.html>
- 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット (編). (2018). 全国主要原子力発電所. En 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット (編), *エネルギー・経済統計要覧* (págs. 210-211). 東京.
- 日本経済新聞. (8 de 8 de 2019). *日本経済新聞 Digital*. Obtenido de 福島第1原発の処理水タンク「22年夏に満杯」東電試算: <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO48370040Y9A800C1MM8000/>
- 木村, 啓. (2016). 地域分散型エネルギーシステム. En 堅. 大島, & 洋. 高橋 「編集者」. 日本評論社.
- 毎日新聞. (19 de 9 de 2019). *毎日新聞 Digital*. Obtenido de 東電旧経営陣3被告に無罪判決 福島第1原発事故で東京地裁: <https://mainichi.jp/articles/20190919/k00/00m/040/102000c>

環境省 - 地球局事業室技術. (2015). *我が国のエネルギーポテンシャル*. Obtenido de 環境省再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書/環境省再生可能エネルギーゾーニング基礎調査報告書:
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lca/2018/mat07_29.pdf

環境省. (2018). *地球局事業室技術 L*. Obtenido de 我が国の再生可能エネルギーポテンシャル:
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/lca/2018/mat07_29.pdf

竹濱, 朝. (2016). 下方一方向潮流から双方向潮流の電力システムへ. En 堅, 大島, & 洋, 高橋 「編集者」, *地域分散型エネルギーシステム* (págs. 147-166). 日本評論社.

経済産業省. (2018). *エネルギー基本計画 2018*.

経済産業省. (28 de 10 de 2019). *原子力発電所の現状*. Obtenido de
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/001/pdf/001_02_001.pdf

経済産業省. (2019). *調達価格等算定委員会*. Obtenido de METI:
<https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/>

経済産業省. (2019). *調達価格等算定委員会*. Obtenido de
<https://www.meti.go.jp/shingikai/santeii/index.html>

経済産業省 資源エネルギー庁 . (2018). *平成 28 年度(2016 年度)エネルギー需給実績を取りまとめました(速報)* .

経済産業省 資源エネルギー庁. (30 de 9 de 2019). *発電事業届出事業者一覧(令和元年 9 月 30 日時点)*. Obtenido de
https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electricity_measures/004/list/

経済産業省(FIT 制度). (2019). *FIT 制度における 2019 年度以降の買取価格・賦課金単価等を決定しました*. Obtenido de
<https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190322007/20190322007.html>

経済産業省(統計). (2019). *Estadísticas sisem FIT*. Obtenido de www.fit-portal.go.jp/servlet/servlet.FileDownload?file=0150K000006pRts

経済産業省(賦課金). (2019). *再生可能エネルギーの 2018 年度の買取価格・賦課金単価等を決定しました*. Obtenido de
<https://www.meti.go.jp/press/2017/03/20180323006/20180323006.html>

資源エネルギー庁. (2019). Obtenido de
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/kaitori/kakaku.html#gBreadcrumb2

週刊東洋経済. (23 de 4 de 2011). 「ニッポン原子力村相関図」. *週刊東洋経済* 第 6321 巻, págs. 38, 39.

ANEXOS

Tabla 1.1 Suministro energético primario total (SEPT) de Japón entre 1926 y 2016. Las Unidades están dadas en peta-Joules (PJ).

Año	Carbón	Petróleo	Gas nat.	Hidro. E.	Nuclear	Leña	Otras	Total	Crecimiento anual
1926	892.80	39.64	0.73	152.96	0.00	150.87	0.00	1237.00	0.00%
1927	967.44	46.76	0.94	175.02	0.00	156.60	0.00	1346.75	8.87%
1928	977.57	84.93	0.91	203.19	0.00	154.84	0.00	1421.44	5.55%
1929	1001.76	117.13	0.97	217.09	0.00	153.21	0.00	1490.15	4.83%
1930	908.41	88.58	1.44	232.54	0.00	153.13	0.00	1384.09	-7.12%
1931	824.61	94.69	2.58	214.03	0.00	153.21	0.00	1289.12	-6.86%
1932	828.46	97.70	1.70	262.38	0.00	158.86	0.00	1349.11	4.65%
1933	976.23	115.45	1.58	279.92	0.00	164.55	0.00	1537.74	13.98%
1934	1088.54	151.07	1.58	289.42	0.00	171.88	0.00	1702.50	10.71%
1935	1145.64	190.72	1.38	331.95	0.00	175.98	0.00	1845.67	8.41%
1936	1278.25	195.11	1.38	349.07	0.00	170.46	0.00	1994.27	8.05%
1937	1365.32	234.38	1.76	387.00	0.00	193.19	0.00	2181.64	9.40%
1938	1473.82	262.47	1.70	412.41	0.00	189.80	0.00	2340.19	7.27%
1939	1571.36	154.34	1.85	399.77	0.00	210.89	0.00	2338.21	-0.08%
1940	1763.29	186.91	1.90	424.59	0.00	277.20	0.00	2653.89	13.50%
1941	1758.22	65.76	1.82	509.86	0.00	260.92	0.00	2596.58	-2.16%
1942	1656.80	36.92	1.82	490.44	0.00	213.95	0.00	2399.92	-7.57%
1943	1634.28	58.48	1.52	521.33	0.00	210.77	0.00	2426.38	1.10%
1944	1482.57	17.92	1.47	526.52	0.00	187.87	0.00	2216.35	-8.66%
1945	789.66	10.63	2.17	345.81	0.00	168.99	0.00	1317.26	-40.57%
1946	533.26	26.04	1.20	471.89	0.00	154.72	0.00	1187.11	-9.88%
1947	713.01	55.21	1.14	502.79	0.00	176.11	0.00	1448.26	22.00%
1948	909.17	78.99	1.29	547.45	0.00	192.22	0.00	1729.12	19.39%
1949	1047.43	58.65	2.02	614.60	0.00	172.59	0.00	1895.29	9.61%
1950	1030.56	126.46	2.40	660.06	0.00	180.96	0.00	2000.45	5.55%
1951	1189.84	203.69	2.84	652.35	0.00	183.56	0.00	2232.29	11.59%
1952	1232.67	274.44	3.19	700.83	0.00	268.07	0.00	2479.20	11.06%
1953	1229.15	395.00	4.81	746.46	0.00	188.75	13.60	2577.77	3.98%
1954	1179.34	414.71	5.94	737.37	0.00	185.53	15.03	2537.92	-1.55%
1955	1267.79	471.81	10.21	731.09	0.00	186.66	17.00	2684.56	5.78%
1956	1429.75	592.79	12.31	737.00	0.00	185.23	19.42	2976.49	10.87%
1957	1572.91	736.33	17.79	759.27	0.00	186.91	24.57	3297.77	10.79%
1958	1365.11	749.68	22.44	763.03	0.00	168.82	24.53	3093.62	-6.19%
1959	1515.64	1148.86	29.30	710.21	0.00	157.06	33.11	3594.18	16.18%
1960	1738.13	1587.73	39.31	660.56	0.00	151.74	42.49	4219.96	17.41%

Año	Carbón	Petróleo	Gas nat.	Hidro. E.	Nuclear	Leña	Otras	Total	Crecimiento anual
1961	1881.80	1968.87	57.18	753.45	0.00	142.79	49.31	4853.39	15.01%
1962	1750.48	2389.31	73.80	665.25	0.00	136.34	49.69	5064.87	4.36%
1963	1809.46	3004.91	85.98	694.26	0.00	65.30	56.80	5716.72	12.87%
1964	1860.70	3565.38	84.85	677.89	0.00	55.30	60.40	6304.53	10.28%
1965	1911.10	4214.43	84.85	750.89	0.33	46.38	62.62	7070.62	12.15%
1966	1991.14	4788.63	88.41	767.55	5.61	38.97	70.20	7750.51	9.62%
1967	2232.09	5779.05	93.52	667.55	6.07	32.99	79.33	8890.58	14.71%
1968	2402.42	6828.33	100.84	715.65	10.05	36.80	86.02	10180.10	14.50%
1969	2576.35	8051.62	119.18	728.00	10.42	34.12	97.74	11617.42	14.12%
1970	2661.11	9623.44	166.19	749.05	44.12	27.67	111.56	13383.14	15.20%
1971	2338.03	10067.32	167.53	804.52	75.43	25.83	117.17	13595.83	1.59%
1972	2338.83	10968.04	168.66	815.23	89.29	22.31	124.74	14527.10	6.85%
1973	2494.34	12484.27	247.56	660.22	91.42	20.13	135.46	16133.41	11.06%
1974	2666.14	11984.74	321.66	794.18	185.53	19.84	130.73	16102.81	-0.19%
1975	2511.34	11245.49	386.41	805.27	236.64	14.53	130.65	15330.32	-4.80%
1976	2454.78	12026.94	437.74	816.87	320.99	12.98	143.58	16213.87	5.76%
1977	2338.45	12126.11	580.19	709.87	298.17	11.76	146.80	16211.36	-0.02%
1978	2150.75	11863.48	753.99	689.40	558.75	9.04	151.83	16177.24	-0.21%
1979	2372.53	12306.32	899.33	790.24	662.99	8.37	170.50	17210.27	6.39%
1980	2818.34	10985.70	1011.52	857.34	777.89	8.29	167.86	16626.95	-3.39%
1981	2947.23	10191.02	1015.49	840.77	827.16	7.58	168.53	15997.79	-3.78%
1982	2827.17	9431.25	1056.48	782.21	964.76	6.99	180.71	15249.57	-4.68%
1983	2885.07	9869.41	1210.77	812.22	1076.44	6.40	194.82	16055.13	5.28%
1984	3171.81	9986.28	1547.25	687.31	1264.61	6.45	208.97	16872.67	5.09%
1985	3299.03	9545.91	1599.62	798.74	1503.00	5.82	214.91	16967.02	0.56%
1986	3067.75	9524.98	1657.34	775.76	1585.22	5.57	220.40	16837.00	-0.77%
1987	3186.63	10059.83	1710.46	717.82	1768.44	5.11	232.70	17681.00	5.01%
1988	3371.40	10691.34	1782.96	866.89	1682.71	4.77	243.13	18643.20	5.44%
1989	3335.03	11195.17	1932.20	882.92	1722.39	4.60	255.31	19327.62	3.67%
1990	3380.40	11869.88	2063.05	858.64	1905.11	4.44	275.65	20357.18	5.33%
1991	3482.29	11659.03	2180.35	937.68	2010.48	4.27	277.87	20551.96	0.96%
1992	3381.78	12192.75	2216.14	792.75	2102.78	4.06	272.30	20962.57	2.00%
1993	3413.77	11996.80	2267.16	921.27	2347.66	3.85	262.88	21213.39	1.20%
1994	3661.71	12833.17	2406.14	644.78	2534.82	3.68	268.33	22352.63	5.37%
1995	3763.22	12708.09	2466.71	790.66	2743.20	3.18	293.19	22768.26	1.86%
1996	3794.19	12758.41	2638.30	773.88	2846.30	2.76	303.70	23117.54	1.53%
1997	3948.66	12535.29	2706.28	876.89	3006.21	2.39	316.26	23391.98	1.19%
1998	3737.22	11941.84	2804.44	897.78	3130.20	2.26	296.67	22810.41	-2.49%
1999	3990.23	11973.61	2919.73	831.77	2982.10	2.60	301.14	23001.17	0.84%
2000	4195.34	12106.22	3072.48	805.94	2898.46	2.43	304.95	23385.83	1.67%

Año	Carbón	Petróleo	Gas nat.	Hidro. E.	Nuclear	Leña	Otras	Total	Crecimiento anual
2001	4295.14	11353.36	3014.04	781.70	2878.75	1.88	301.65	22626.52	-3.25%
2002	4570.62	11542.95	3111.11	768.85	2655.84	1.76	315.25	22966.39	1.50%
2003	4727.14	11645.93	3305.47	889.45	2160.13	1.47	330.78	23060.36	0.41%
2004	5155.50	11518.71	3282.99	877.56	2541.98	1.21	331.16	23709.12	2.81%
2005	4883.86	11770.34	3298.86	711.34	2684.89	1.00	333.42	23683.71	-0.11%
2006	4912.66	11233.47	3604.98	803.18	2673.17	1.00	340.24	23568.72	-0.49%
2007	5131.80	11225.90	3891.69	664.91	2324.35	0.96	352.34	23591.95	0.10%
2008	5055.07	10829.52	3881.35	678.68	2274.11	0.96	339.24	23058.94	-2.26%
2009	4452.45	9868.53	3777.58	682.54	2464.58	0.88	342.00	21588.55	-6.38%
2010	5046.41	10149.75	3998.14	721.21	2539.30	1.00	370.21	22826.03	5.73%
2011	4731.37	10195.12	4686.87	731.34	896.53	0.96	381.89	21624.09	-5.27%
2012	4962.31	10369.43	4881.02	657.63	140.44	0.71	397.51	21409.05	-0.99%
2013	5350.06	10076.45	4956.58	676.30	80.79	0.96	491.44	21632.59	1.04%
2014	5166.21	9468.68	5021.75	716.57	0.00	0.96	578.93	20953.11	-3.14%
2015	5252.66	9367.54	4717.80	739.72	81.96	0.96	662.02	20822.67	-0.62%
2016	5175.80	9087.79	4741.29	683.04	156.81	0.92	808.95	20654.60	-0.81%

Fuentes: [日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット (編), 2018]

Tabla 1.2 PIB nominal y SEPT de Japón entre 1965 y 2016. Unidades en billones de yenes y en peta-Joules (PJ).

AÑO	PIB (nominal)		SEPT	
	Billones Y	Crecimiento	PJ	Crecimiento
1965	34.629	-	7,070.62	-
1970	77.704	124.39%	13,383.14	89.28%
1973	121.125	55.88%	16,133.41	20.55%
1975	159.146	31.39%	15,330.32	-4.98%
1976	178.127	11.93%	16,213.87	5.76%
1977	197.619	10.94%	16,211.36	-0.02%
1978	216.616	9.61%	16,177.24	-0.21%
1979	233.893	7.98%	17,210.27	6.39%
1980	256.153	9.52%	16,626.95	-3.39%
1981	272.557	6.40%	15,997.79	-3.78%
1982	285.246	4.66%	15,249.57	-4.68%
1983	299.017	4.83%	16,055.13	5.28%
1984	317.792	6.28%	16,872.67	5.09%
1985	338.999	6.67%	16,967.02	0.56%

AÑO	PIB (nominal)		SEPT	
	Billones Y	Crecimiento	PJ	Crecimiento
1986	353.082	4.15%	16,837.00	-0.77%
1987	374.417	6.04%	17,681.00	5.01%
1988	400.43	6.95%	18,643.20	5.44%
1989	427.272	6.70%	19,327.62	3.67%
1990	462.964	8.35%	20,357.18	5.33%
1991	487.343	5.27%	20,551.96	0.96%
1992	496.682	1.92%	20,962.57	2.00%
1993	494.916	-0.36%	21,213.39	1.20%
1994	502.636	1.56%	22,352.63	5.37%
1995	516.407	2.74%	22,768.26	1.86%
1996	528.766	2.39%	23,117.54	1.53%
1997	533.338	0.86%	23,391.98	1.19%
1998	526.013	-1.37%	22,810.41	-2.49%
1999	521.988	-0.77%	23,001.17	0.84%
2000	528.513	1.25%	23,385.83	1.67%
2001	519.074	-1.79%	22,626.52	-3.25%
2002	514.764	-0.83%	22,966.39	1.50%
2003	517.931	0.62%	23,060.36	0.41%
2004	521.18	0.63%	23,709.12	2.81%
2005	525.692	0.87%	23,683.71	-0.11%
2006	529.077	0.64%	23,568.72	-0.49%
2007	530.997	0.36%	23,591.95	0.10%
2008	509.466	-4.05%	23,058.94	-2.26%
2009	492.07	-3.41%	21,588.55	-6.38%
2010	499.281	1.47%	22,826.03	5.73%
2011	494.017	-1.05%	21,624.09	-5.27%
2012	494.478	0.09%	21,409.05	-0.99%
2013	507.246	2.58%	21,632.59	1.04%
2014	518.469	2.21%	20,953.11	-3.14%
2015	533.904	2.98%	20,822.67	-0.62%
2016	539.254	1.00%	20,654.60	-0.81%

Fuentes: [日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット (編), 2018]

Tabla 1.3 Algunas de las compañías japonesas más importantes del sector energético.

Compañías regionales de electricidad		
Denominación	Fundación	Descripción
Hokkaidō Electric	1951	Las compañías regionales de electricidad fueron establecidas en 1951 tras la disolución de la Compañía Nacional de Transmisión y Generación de Electricidad "Nippatsu". Actualmente continúan operando y mantienen la mayor porción del mercado nacional. Estas empresas también son conocidas como Kyū-den, pues son las nueve empresas comerciales que operan reactores nucleares.
Tōhoku Electric		
Tokio Electric (TEPCO)		
Hokuriku Electric		
Kansai Electric (KEPCO)		
Chūbu Electric		
Chūgoku Electric		
Shikoku Electric		
Kyūshū Electric		
Okinawa Electric	1972	Fue creada después del fin de la ocupación norteamericana en Okinawa
Compañías relacionadas con la industria nuclear		
Denominación	Fundación	Descripción
The Japan Atomic Power Company (JAPC) (日本原子力発電株式会社)	1957	Esta empresa fue la primera en construir y operar plantas nucleares en Japón. Actualmente continúa operando plantas nucleares en las provincias de Ibaraki y Fukui. También participa en proyectos como el desmantelamiento de reactores nucleares en desuso.
J-Power	1952	Fundada como una compañía paraestatal bajo la ley de Promoción de fuentes de energía de 1952. Sus principales áreas de operación han sido la energía hidroeléctrica y la termoeléctrica, no obstante, también se ha involucrado en proyectos de la industria nuclear
Japan Nuclear Fuel Limited (JNFL) (日本原燃)	1992	Esta compañía tiene como misión el manejo del combustible nuclear y los residuos radiactivos de la industria nuclear. Sus orígenes pueden rastrearse, por lo menos, hasta 1980, con la fundación de su antecesora JNFL Service.
Compañías independientes de producción eléctrica		
Denominación	Fundación	Descripción
809 empresas registradas ante el METI (septiembre de 2019)		

Compañías de petróleo, gas y carbón		
Denominación	Fundación	Descripción
JOGMEC (石油天然ガス-金属鉱物資源機構)	2004	(Japan Oil, Gas and Metals National Corporation). Se conformó de la fusión de la Corporación Nacional de Petróleo de Japón (JNOC) con la Agencia de Financiamiento de Exploración de Minerales Metálicos (MMAJ). Por su parte, JNOC fue fundada en 1967, pero sus orígenes pueden rastrearse hasta Teikoku Oil Co (1944)., la empresa nacional que centralizó la exploración petrolera durante la Segunda Guerra Mundial. Actualmente, JOGMEC es un corporativo paraestatal (独立行政法人) cuya misión es procurar un suministro estable de recursos energéticos (y otros) a Japón.
INPEX Corp. (国際石油開発帝石株式会社)	2006	Esta es una corporación privada con la misión de suministrar de recursos energéticos (y otros) a Japón. Sus orígenes pueden rastrearse hasta la fundación de North Sumatra Offshore Petroleum Corp. (1966) y hasta Tikoku Oil Co. (1944).
JAPEX (石油資源開発株式会社)	1955	Fue establecida como una compañía estatal para la exploración y búsqueda de petróleo en 1955. A partir de 1970 ha operado de manera independiente como compañía privada.
JGC Holdings Corp.	1925	(Japan Gasoline Corp.) Es una corporación internacional dedicada a la extracción y desarrollo de recursos energéticos derivados de combustibles fósiles.
Tokio gas	1885	Estas compañías, también de corte internacional, se enfocan en el suministro de gas natural, aunque también se involucran en otros negocios dentro del sector energético. Es una de las más antiguas de Japón.
Osaka gas	1897	
Compañías comerciantes de energéticos		
Estas compañías son filiales de grandes corporativos como Mitsubishi Corp., Mitsui and Co., Sumitomo Corp., Marubeni Corp.		

Fuentes: (Hokuden, 2019), (Tōhokuden, 2019), (TEPCO, 2019), (Hokuden, 2019), (KEPCO, 2019), (Chūbuden, 2019), (Chūden, 2019), (Yonden, 2019), (Okiden, 2019), (経済産業省 資源エネルギー庁, 2019), (JOGMEC, 2019), (INPEX, 2019), (JAPEX, 2019), (JGC Holdings Corp., 2019), (Tokio Gas, 2019), (Osaka Gas, 2019).

Tabla 1.4 Generación y consumo de energía eléctrica por sector y por fuente en 2013 y 2017.

Año	2013		2017	
Generación energía eléctrica (TWh)	1,084.8	100.00%	1,060.3	100.00%
Nuclear	9.3	0.88%	32.9	3.10%
Carbón	356.6	33.63%	346.4	32.67%
Gas Nat.	443.2	41.80%	419.3	39.55%
Petróleo (y derivados)	157.8	14.88%	91.9	8.67%
Hidroeléctrica	79.4	7.49%	83.8	7.90%
Solar	12.9	1.22%	55.1	5.20%
Eólica	5.2	0.49%	6.5	0.61%
Geotérmica	2.6	0.25%	2.5	0.24%
Biomasa	17.8	1.68%	21.9	2.07%
Fuentes renovables	117.9	11.12%	169.8	16.01%
Consumo final por sector (TWh)	989.6	100.00%	964.0	100.00%
Sector industrial	688.1	71.38%	673.2	69.83%
Manufactura	353.4		339.0	
Recursos primarios	11.1		10.7	
Comercio	323.6		323.5	
Sector residencial	283.8	29.44%	273.3	28.35%
Sector transporte	17.7	1.84%	17.5	1.82%

Fuente: (経済産業省 資源エネルギー庁, 2018)

Tabla 2.1 Reactores nucleares en Japón

Empresa	Prefectura	Planta	Reactor	Tipo	Potencia (GW)	Inicio de operación	Edad	Estatus
Hokkaidō Electric	Hokkaidō	Tomari	#1	P	0.579	1989.06	30	En revisión
			#2	P	0.579	1991.04	28	En revisión
			#3	P	0.912	2009.12	10	En revisión
Tōhoku Electric	Aomori	Higashi-Dōri	#1	B	1.1	2005.12	14	En revisión
	Miyagi	Onnagawa	#1	B	0.524	1984.06		Retirado
			#2	B	0.825	1995.07	24	En revisión
TEPCO	Fukushima	Fukushima daini	#1	B	1.1	1982.04	37	En retiro
			#2	B	1.1	1984.02	35	En retiro
			#3	B	1.1	1985.06	34	En retiro
			#4	B	1.1	1987.08	32	En retiro
		Fukushima Daiichi	#1	B	0.46	1971.03		En retiro
			#2	B	0.784	1974.07		En retiro
			#3	B	0.784	1976.03		En retiro
			#4	B	0.784	1978.10.		En retiro
	Niigata	Kashiwasaki Kariwa	#5	B	0.784	1978.04		En retiro
			#6	B	1.1	1979.10.		En retiro
			#1	B	1.1	1985.9	26	En paro
			#2	B	1.1	1990.9	17	En paro
			#3	B	1.1	1993.8	14	En paro
			#4	B	1.1	1994.8	14	En paro
JAPC	Ibaraki	Tōkai	#1	G	0.166	1966.07	31	Retirado
		Tōkai Daini	#1	B	1.1	1978.11	41	Aprobado
	Fukui	Tsuruga	#1	P	0.357	1970.3	45	Retirado
			#2	P	1.16	1978.02	41	En revisión
Chūbu Electric	Shizuoka	Hamaoka	#1	B	0.54	1976.03	32	Retirado
			#2	B	0.84	1978.11	30	Retirado
			#3	B	1.1	1987.08	32	En revisión
			#4	B	1.137	1993.09	26	En revisión
			#5	A	1.38	2005.01	14	En paro
Hokuriku Electric	Ishikawa	Shika	#1	B	0.54	1993.07	26	En paro
			#2	A	1.206	2006.03	13	En revisión

Empresa	Pref.	Planta	Reactor	Tipo	Potencia (GW)	Inicio de operación	Edad	Estatus
KEPCO	Fukui	Mihama	#1	P	0.34	1970.11	44	Retirado
			#2	P	0.5	1972.07	42	Retirado
			#3	P	0.826	1976.12	43	Aprobado
		Oi	#1	P	1.175	1979.03	38	Retirado
			#2	P	1.175	1979.12	38	Retirado
			#3	P	1.18	1991.12	28	Operando
			#4	P	1.18	1192.03	27	Operando
		Takahama	#1	P	0.826	1974.11	45	Aprobado
			#2	P	0.826	1975.11	44	Aprobado
			#3	P	0.87	1985.01	34	Operando
			#4	P	0.87	1985.06	34	Aprob. en paro
		Chūgoku Electric	Shimane	Shimane	#1	B	0.46	1974.03
#2	B				0.82	1989.02	30	En revisión
Shikoku Electric	Ehime	Ikata	#1	P	0.566	1977.03	39	En retiro
			#2	P	0.566	1982.03	37	En retiro
			#3	P	0.89	1994.12	25	Operando
Kyūshū Electric	Saga	Genkai	#1	P	0.559	1975.10.	39	En retiro
			#2	P	0.559	1981.03	38	En retiro
			#3	P	1.18	1994.03	25	Operando
			#4	P	1.18	1997.07	22	Operando
	Kagoshima	Sendai	#1	P	0.89	1978.11	41	Operando
			#2	P	0.89	1987.02	32	Aprob. en paro

P = Reactor de agua a presión

B = Reactor de agua hirviendo

A = Reactor avanzado de agua a presión

G = Reactor enfriado con gas

Estatus general de los reactores:

- Operando: Recibió el visto bueno tras inspección bajo la nueva normatividad.
- Aprob. En paro: Aprobó la nueva normatividad y comenzó a operar pero fue detenido nuevamente.
- Aprobado: ha aprobado la nueva normatividad pero aún no tiene fecha de reinicio.
- En revisión: Se encuentra en proceso de inspección bajo la nueva normatividad.
- En paro: Está detenido y aún no solicita inspección.
- En retiro o retirado: Está en proceso de desmantelamiento o ya fue desmantelado.

Fuente: (経済産業省, 2019)

Tabla 2.2 La aldea nuclear

Estado (国)	Gabinete (内閣府)	Comisión de Energía Nuclear (原子力委員会)
	Ministerio de Medio Ambiente (環境省)	Autoridad de Regulación Atómica (原子力規制委員会)
	METI (経済産業省)	Agencia de Recursos Naturales y Energía (資源エネルギー庁)
		Junta de Investigación de Recursos Naturales y Energía (総合資源エネルギー調査会)
MEXT	AEAJ (日本原子力研究開発機構)	
Organizaciones Industriales		Denjiren (電気事業連合会)
		JANTI (日本原子力技術協会)
		JAIF (日本原子力産業協会)
		JINED (国際原子力開発)
		JNFL (日本原燃)
		電力中央研究所
Empresas	De electricidad	el Kyū-den (tabla 2.1)
	Principales Contratistas	Toshiba, Hitachi, Mitsubishi Heavy
	Diseño y Construcción	竹中工務店、大林組、鹿島、熊谷組、五洋建設、清水建設、大成建設、西松建設、前田建設工業、奥村組...
	Obtención de uranio	海外ウラン資源開発, 出光興産, 住友商事, 丸紅, 三菱商事
Universidades		Universidad de Tokio, Universidad Waseda

Tabla 3.1 Generación de energía renovable en Japón a partir de la implementación del sistema FiT. Unidades en giga watts-hora (GWh).

Año fiscal	Solar		Eólica	hidroeléctrica	Geotérmica	Biomasa	Total
	(+10kW)	(-10kw)					
2012	189.53	2,320.68	2,741.71	120.07	1.24	216.99	5,590.22
2013	4,254.67	4,856.86	4,896.38	935.53	6.08	3,169.40	18,118.92
2014	13,177.31	5,780.18	4,920.82	1,072.77	6.08	3,644.38	28,601.54
2015	24,591.08	6,486.28	5,232.60	1,476.33	58.81	5,390.14	43,235.25
2016	34,549.52	7,116.89	5,861.80	2,007.87	76.20	7,365.07	56,977.35
2017	42,614.77	7,826.90	6,166.64	2,458.30	101.27	10,247.78	69,415.65
2018	49,275.99	8,364.79	7,080.68	2,776.14	148.00	12,516.72	80,162.31
2019							-
TOT.	168,652.88	42,752.57	36,900.63	10,847.01	397.68	42,550.47	302,101.24

Fuente: (経済産業省(統計), 2019)

Tabla 3.2a Costos del sistema FiT hasta 2018. Unidades en miles de millones de yenes.

Año fiscal	Solar		Eólica	hidroeléctrica	Geotérmica	Biomasa	Total
	(+10kW)	(-10kw)					
2012	7.53	104.91	58.56	3.05	0.05	4.14	178.24
2013	176.93	214.81	104.57	23.76	0.21	58.84	579.12
2014	548.60	248.60	108.74	28.19	0.27	74.25	1,008.65
2015	995.34	272.92	116.34	39.05	2.54	123.28	1,549.47
2016	1,367.86	292.57	131.16	53.37	3.30	180.79	2,029.05
2017	1,651.86	314.94	138.80	65.47	4.38	259.78	2,435.23
2018	2,126.47	383.82	141.18	83.92	16.54	314.56	3,066.49
2019							-
TOT.	6,874.59	1,832.57	799.35	296.81	27.29	1,015.64	10,846.25
TOT.	6.87	1.83	0.80	0.30	0.03	1.02	10.85

(Billones de yenes)

Fuente: (経済産業省(統計), 2019)

Tabla 3.2b Costos del sistema FiT hasta 2018. Unidades en millones de dólares americanos.

Año fiscal	Solar		Eólica	hidroeléctrica	Geotérmica	Biomasa	Total
	(+10kW)	(-10kw)					
2012	68.45	953.73	532.36	27.73	0.45	37.64	1,620.36
2013	1,608.45	1,952.82	950.64	216.00	1.91	534.91	5,264.73
2014	4,987.27	2,260.00	988.55	256.27	2.45	675.00	9,169.55
2015	9,048.55	2,481.09	1,057.64	355.00	23.09	1,120.73	14,086.09
2016	12,435.09	2,659.73	1,192.36	485.18	30.00	1,643.55	18,445.91
2017	15,016.91	2,863.09	1,261.82	595.18	39.82	2,361.64	22,138.45
2018	19,331.55	3,489.27	1,283.45	762.91	150.36	2,859.64	27,877.18
2019	-	-	-	-	-	-	-
TOT.	62,496.27	16,659.73	7,266.82	2,698.27	248.09	9,233.09	98,602.27

Fuente: (経済産業省(統計), 2019)

En la siguiente página:

Tabla 3.3 Evolución de costos unitarios de energía solar entre 2012 y 2019. Unidades en yenes.

Fuentes: (資源エネルギー庁, 2019), (経済産業省, 2019), (経済産業省(FIT 制度), 2019).

2012		10kW+	10kW-	10kW- (2)	
	Costo de Suministro	40*	42	34	
	Periodo (años)	20	10	10	
2013		10kW+	10kW-	10kW- (2)	
	Costo de Suministro	36*	38	31	
	Periodo (años)	20	10	10	
2014		10kW+	10kW-	10kW- (2)	
	Costo de Suministro	32*	37	30	
	Periodo (años)	20	10	10	
2015		10kW-			
		Compra de excedentes		Compra de excedentes (2)	
		Sin obligación**	Con obligación**	Sin obligación**	Con obligación**
	Costo de Suministro	33	35	27	29
	Periodo (años)	10		10	
		10kW+			
		Incluyendo periodo de Retorno de Inversión (1 abr - 30 jun)		A partir del 1 de julio	
Costo de Suministro	29*		27*		
Periodo (años)	20		20		
2016		10kW-			
		Compra de excedentes		Compra de excedentes (2)	
		Sin obligación**	Con obligación**	Sin obligación**	Con obligación**
	Costo de Suministro	31	33	25	27
	Periodo (años)	10		10	
		10kW+			
	Costo de Suministro	24*			
Periodo (años)	20				
2017		2MW+	Entre 10kW y 2MW		
	Costo de Suministro	Se define mediante subasta		21*	
	Periodo (años)	20			
		10kW-			
		Sin obligación**	Con obligación**	Sin obligación**	Con obligación**
	Costo de Suministro	28	30	25	27
Periodo (años)	10				
2018		2MW+	Entre 10kW y 2MW		
	Costo de Suministro	Se define mediante subasta		18*	
	Periodo (años)	20			
		10kW-			
		Sin obligación**	Con obligación**	Sin obligación**	Con obligación**
	Costo de Suministro	26	28	25	27
Periodo (años)	10				
2019		2MW+	Entre 10kW y 2MW		
	Costo de Suministro	Se define mediante subasta		14*	
	Periodo (años)	20			
		10kW-			
		Sin obligación**	Con obligación**	Sin obligación**	Con obligación**
	Costo de Suministro	24	26	24	26
Periodo (años)	10				

tabla 3.4 Evolución de costos unitarios de energía eólica entre 2012 y 2019. Unidades en yenes.

Año	Categoría	20kW+	20kW-		
		2012	Costo de Suministro	22	55
	Periodo (años)	20			
2013	Costo de Suministro	22	55	(Sin impuesto)	
	Periodo (años)	20			
2014	Costo de Suministro	22	55	Fuera de Costa	36
	Periodo (años)	20			
2015	Costo de Suministro	22	55	Fuera de Costa	36
	Periodo (años)	20			
2016	Costo de Suministro	22	55	Fuera de Costa	36
	Periodo (años)	20			
2017	Costo de Suministro	21	18	20kW+ (reemplazo)	20kW+ Fuera de Costa
	Periodo (años)	20			
2018	Costo de Suministro	20	17	20kW+ (reemplazo)	20kW+ Fuera de Costa
	Periodo (años)	20			
2019	Costo de Suministro	19	16	20kW+ (reemplazo)	20kW+ Fuera de Costa
	Periodo (años)	20			
2020 (estimación)	Costo de Suministro	18	16	20kW+ (reemplazo)	20kW+ Fuera de Costa
	Periodo (años)	20			

Fuentes: (資源エネルギー庁, 2019), (経済産業省, 2019), (経済産業省(FIT 制度), 2019).

Tabla 3.4a Carga fiscal anual del programa FiT. Unidades en yenes.

Año Fiscal	Tarifa (¥/kWh)	Incremento anual	Carga fiscal por vivienda promedio (260kWh/mes)	
			Mensual	Anual
2012	0.22	-	¥57.20	¥514.80
2013	0.35	59.09%	¥91.00	¥1,092.00
2014	0.75	114.29%	¥195.00	¥2,340.00
2015	1.58	110.67%	¥410.80	¥4,929.60
2016	2.25	42.41%	¥585.00	¥7,020.00
2017	2.64	17.33%	¥686.40	¥8,236.80
2018	2.9	9.85%	¥754.00	¥9,048.00
2019	2.95	1.72%	¥767.00	¥9,204.00
2020				
PROMEDIO (2012-19)			¥443.30	¥5,298.15
TOTAL CARGA FISCAL			¥42,385.20	

Tabla 3.4b Carga fiscal anual del programa FiT. Unidades en dólares americanos.

Año Fiscal	Tarifa (\$/kWh)	Incremento anual	Carga por vivienda promedio (260kWh/mes)	
			Mensual	Anual
2012	0.0020	-	\$0.52	\$4.68
2013	0.0032	59.09%	\$0.83	\$9.93
2014	0.0068	114.29%	\$1.77	\$21.27
2015	0.0144	110.67%	\$3.73	\$44.81
2016	0.0205	42.41%	\$5.32	\$63.82
2017	0.0240	17.33%	\$6.24	\$74.88
2018	0.0264	9.85%	\$6.85	\$82.25
2019	0.0268	1.72%	\$6.97	\$83.67
2020				
PROMEDIO (2012-19)			¥4.03	\$48.17
TOTAL CARGA FISCAL			\$385.32	

Fuentes: (経済産業省(賦課金), 2019)

Tabla 3.4c Ejercicio a 2030 de la tarifa fiscal del sistema FiT. Unidades en yenes.

Año Fiscal	Tarifa (¥/kWh)	Incremento anual	Carga por vivienda promedio (260kWh/mes)	
			Mensual	Anual
2012	0.22	-	¥57.20	¥514.80
2013	0.35	59.09%	¥91.00	¥1,092.00
2014	0.75	114.29%	¥195.00	¥2,340.00
2015	1.58	110.67%	¥410.80	¥4,929.60
2016	2.25	42.41%	¥585.00	¥7,020.00
2017	2.64	17.33%	¥686.40	¥8,236.80
2018	2.9	9.85%	¥754.00	¥9,048.00
2019	2.95	1.72%	¥767.00	¥9,204.00
2020	3.10	5.00%	¥805.35	¥9,664.20
2021	3.25	5.00%	¥845.62	¥10,147.41
2022	3.41	5.00%	¥887.90	¥10,654.78
2023	3.59	5.00%	¥932.29	¥11,187.52
2024	3.77	5.00%	¥978.91	¥11,746.90
2025	3.95	5.00%	¥1,027.85	¥12,334.24
2026	4.15	5.00%	¥1,079.25	¥12,950.95
2027	4.36	5.00%	¥1,133.21	¥13,598.50
2028	4.58	5.00%	¥1,189.87	¥14,278.42
2029	4.81	5.00%	¥1,249.36	¥14,992.35
2030	5.05	5.00%	¥1,311.83	¥15,741.96
PROMEDIO			¥788.83	¥9,456.97
TOTAL				¥179,682.43

Tabla 3.4d Ejercicio a 2030 de la tarifa fiscal del sistema FiT. Unidades en dólares americanos.

Año Fiscal	Tarifa (¢/kWh)	Incremento anual	Carga por vivienda promedio (260kWh/mes)	
			Mensual	Anual
2012	0.00	-	\$0.52	\$4.68
2013	0.00	59.09%	\$0.83	\$9.93
2014	0.01	114.29%	\$1.77	\$21.27
2015	0.01	110.67%	\$3.73	\$44.81
2016	0.02	42.41%	\$5.32	\$63.82
2017	0.02	17.33%	\$6.24	\$74.88
2018	0.03	9.85%	\$6.85	\$82.25
2019	0.03	1.72%	\$6.97	\$83.67
2020	0.03	5.00%	\$7.32	\$87.86
2021	0.03	5.00%	\$7.69	\$92.25
2022	0.03	5.00%	\$8.07	\$96.86
2023	0.03	5.00%	\$8.48	\$101.70
2024	0.03	5.00%	\$8.90	\$106.79
2025	0.04	5.00%	\$9.34	\$112.13
2026	0.04	5.00%	\$9.81	\$117.74
2027	0.04	5.00%	\$10.30	\$123.62
2028	0.04	5.00%	\$10.82	\$129.80
2029	0.04	5.00%	\$11.36	\$136.29
2030	0.05	5.00%	\$11.93	\$143.11
PROMEDIO			\$7.17	\$85.97
TOTAL				\$1,633.48

Tabla 3.5 Potencial de energías renovables en Japón por región. Unidades en mega-watts (MW).

Región	Solar	Eólica	Hidroeléctrica (hasta 30MW)	Geotérmica	Total
Hokkaidō	20,330.00	531,370.00	830.00	840.00	553,370.00
Tōhoku	45,890.00	283,850.00	2,750.00	3,990.00	336,480.00
Kantō	84,040.00	89,580.00	1,010.00	840.00	175,470.00
Hokuriku	16,340.00	47,500.00	910.00	-	64,750.00
Chūbu	46,810.00	48,510.00	1,520.00	530.00	97,370.00
Kansai	39,310.00	40,890.00	210.00	-	80,410.00
Chūgoku	32,760.00	128,560.00	420.00	-	161,740.00
Shikoku	17,410.00	50,910.00	260.00	-	68,580.00
Kyūshū	53,310.00	378,390.00	1,020.00	1,640.00	434,360.00
Okinawa	3,380.00	79,480.00	2.00	-	82,862.00
TOTALES	359,580.00	1,679,040.00	8,932.00	7,840.00	2,055,392.00

TOTALES (GW)	359.58	1,679.04	8.93	7.84	2,055.39
Porcentajes	17.49%	81.69%	0.43%	0.38%	100.00%

TOTALES (TW)	0.36	1.68	0.01	0.01	2.06
Porcentajes	17.49%	81.69%	0.43%	0.38%	100.00%

Fuente: (環境省 - 地球局事業室技術, 2015)

SOBRE EL COMBUSTIBLE NUCLEAR Y EL CICLO DE COMBUSTIBLE

El uranio 235 (U235) es la sustancia que actúa como combustible nuclear en reactores de agua ligera que se utilizan en Japón. El U235 es un recurso mineral que se extrae de minas en distintas partes del mundo, y en su estado natural coexiste con isótopos de uranio 238 (U238), aunque éstos no sirven para la generación de energía. Como la concentración de U235 en estado natural es muy pobre (0.7%), éste debe *enriquecerse* hasta alcanzar concentraciones suficientes (entre 3 y 5%) para poder utilizarlo eficientemente en un reactor nuclear (CNIC). Con uranio enriquecido y en condiciones controladas dentro de un reactor nuclear, se producen reacciones de fisión nuclear que desprenden neutrones de los núcleos atómicos y liberan energía, estos neutrones *chocan* con otros núcleos atómicos de U235 y el proceso se repite hasta que la mayor parte del U235 *decae* en otros elementos; cuando esto ocurre, el combustible nuclear queda *exhausto*. La energía liberada en este proceso se utiliza para calentar agua y generar energía eléctrica como en un termo-generador. El U238 presente en el combustible nuclear no interviene en el proceso de generación de energía, sin embargo, es el isótopo que transmuta en plutonio 239 (Pu239). Cuando algunos de los neutrones *errantes* que se desprenden por la fisión del U235, *chocan* con los núcleos atómicos del U238, éste transmuta en plutonio 239 (Pu239). El combustible nuclear exhausto contiene un 1% de Pu239. De esta manera se produce el Pu239.

Para reciclar el combustible nuclear exhausto, se emplean procesos químicos para separar el uranio, el plutonio y las *cenizas de la muerte*. En el proceso, tanto el uranio como el plutonio se oxidan, y posteriormente se combinan estos óxidos –óxido de uranio con el óxido

de plutonio— para crear el combustible reciclado conocido como MOX¹³². El MOX puede ser utilizado en reactores nucleares de agua ligera, aunque su eficiencia es de aproximadamente una décima parte en comparación con el uranio enriquecido (Yoshioka, 2011. Pág. 133). Así concluye el ciclo de combustible, pero el proceso puede reproducirse varias veces, por eso se ha manejado como una importante aportación a la independencia energética por parte de la política energética y nuclear —el sueño tecnológico de Japón—, a pesar de los altos costos implicados y las sustancias altamente radiactivas que resultan del proceso. El MOX es entre 10 y 20 veces más caro que el U235 como combustible nuclear, y en comparación, solo produce un décimo de la energía que se genera con combustible nuclear nuevo (U235) (Yoshioka, 2011).

¹³² Por sus siglas en inglés: Mixed Oxid Fuel