

## **Decisiones de inversión para generar energía eléctrica a nivel internacional**

*ROBERTO JOSÉ TABOADA GONZÁLEZ<sup>1</sup>*  
*GERARDO GABRIEL ALFARO CALDERÓN\**

### **RESUMEN**

En el presente trabajo se analizan las decisiones de inversión para generar electricidad a nivel mundial, existen dos modelos extremos de mercados de energía eléctrica, por un lado los monopolios estatales y por el otro un mercado liberalizado, donde hay muchos generadores privados compitiendo entre si y además el suministro también lo realizan los inversionistas privados, dentro de esos dos extremos hay una amplia gama de combinaciones de mercado dependiendo del país. Se definen los dos tipos de mercado y se analizan las tendencias mundiales según la Agencia Internacional de Energía, EIA por sus siglas en inglés.

Se establece que el precio de la electricidad y la selección de la tecnología son las dos decisiones críticas del proceso por ser las que presentan más riesgo.

Al final se concluye con discusión sobre los problemas que pueden tener las empresas y los países.

**Palabras Clave:** Decisiones, inversión, generación de electricidad, tecnología, riesgo.

### **ABSTRACT**

In this paper investment decisions to generate electricity are analyzed worldwide, there are two extreme models of electricity markets, first state monopolies and on the other a liberalized market, where there are many private generators competing with each other and also supply also made by private investors, within these two extremes there is a wide range of combinations depending on the country market. The two markets are defined and global trends according to the Energy International Agency, EIA are analyzed.

It states that the price of electricity and technology selection are the two critical process for being the most at risk.

Finally we conclude with discussion on the problems that may have the companies and countries.

**Keywords:** Decisions, investment, power generation, technology, risk.

---

<sup>1</sup> \*Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente ensayo es plantear que las decisiones de inversión para generar electricidad a nivel mundial, son tomadas dependiendo de la estructura de propiedad y de la calificación crediticia del país, las decisiones como la selección de la tecnología, la determinación de la capacidad de la central, la localización y la fecha de la operación comercial, se realizan de la misma manera en cualquier modelo de propiedad. Un factor que cada vez cobra más relevancia para las decisiones de inversión a nivel mundial es el de la sustentabilidad ambiental de los proyectos, debido al fenómeno del calentamiento global.

Para lograr el objetivo se presenta una introducción sobre la evolución de la industria eléctrica, su situación actual y su proyección futura al año 2040 de acuerdo a las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía de la OCDE, a continuación se establece que las decisiones de inversión dependen de la estructura de la industria eléctrica de cada país, así como de la calificación crediticia del país. La estructura de la industria queda determinada por las políticas de los gobiernos para invertir en la generación de energía eléctrica, así como para regular la actividad de la industria, éstas quedan plasmadas en leyes y reglamentos gubernamentales, es decir es el escenario donde todos los participantes de la industria competirán. Por último se describen las decisiones necesarias para invertir en generación de energía y se hace una apreciación personal.

### **Evolución de la industria eléctrica**

La generación de energía inició en el siglo XIX, en el periodo de 1860 a 1920 era una industria demasiado fragmentada, había muchos propietarios en su mayoría privados y no estaban sujetos a ninguna regulación, los inversionistas se decidían por invertir en áreas con alta densidad demográfica o industrial, en ocasiones se presentaba una fuerte competencia. El autoconsumo industrial era más común en la primera mitad del siglo XX.

Entre 1920 y 1930 algunos gobiernos fijaron las primeras políticas públicas para la operación del mercado de electricidad, entonces la electricidad pasó de ser un lujo a una necesidad básica. Algunos países empezaron a financiar grandes proyectos hidroeléctricos con fondos públicos, así como la construcción de redes de distribución esencialmente en zonas rurales, en ese periodo la industria incluye un gran número de empresas privadas y públicas.

El periodo que vivió la transformación más profunda en la industria eléctrica mundial fue el de la postguerra, 1945 a 1960, la construcción de grandes centrales constituyó para las empresas que las realizaron una ventaja por la economía de escala obtenida, por lo que las pequeñas empresas

desaparecieron por no poder competir, fue en este periodo cuando se aceptó por todos los actores que tenía que ser un monopolio natural.

En este periodo varios gobiernos constituyeron empresas públicas monopólicas como Francia, Italia, México, Nueva Zelanda, Australia entre muchos otros.

Estados Unidos siguió otro modelo, el de monopolio privado normado por una comisión reguladora gubernamental independiente, sin embargo un gran número de empresas municipales y estatales se crearon y muchas aún existen.

En los 70's en Estados Unidos se duda si su modelo de monopolio regulado funciona eficientemente, tal como fue establecido por Averch y Johnson en 1962, en su estudio "Behaviour of the firm under regulatory constraint" donde concluyeron que un monopolio privado sujeto a una tasa de retorno regulada tiene incentivos para sobre invertir en activos de capital. Otra situación que originó la duda es que se observó que los empleados de la comisión reguladora del estado podían emplearse después en las compañías que ellos mismos regulaban, situación que provocaba componendas y corruptelas.

Es esa misma década estalló la crisis del petróleo que provocó una fuerte alza de éste y dado que la producción de la carga base de electricidad en muchos países, era producida con combustóleo, impulsó a muchos países a acelerar sus programas de instalación de centrales nucleares y a otros a iniciarlos, para poder reducir la dependencia del petróleo. Al mismo tiempo se hicieron esfuerzos para sustituir la generación con combustóleo, principalmente con carbón y algunas veces con gas.

Posteriormente se desarrollaron las centrales de generación de ciclo combinado las cuales bajaron los niveles de economía de escala, de manera que un productor con estas centrales alcanzaba costos de operación competitivos, a este hecho se sumó que los costos del gas natural bajaron, haciendo posible competir a las empresas con menores escalas de producción, lo cual provocó una ola de reformas en la industria eléctrica en todo el mundo. A lo cual México no fue ajeno y se realizaron modificaciones en leyes secundarias para que se permitiera generar a particulares, reservándose la empresa paraestatal las demás actividades de la cadena productiva, por lo que los particulares deben vender su energía a la Comisión Federal de Electricidad.

En otros países las reformas fueron más profundas permitiendo que los particulares distribuyeran la energía. (International Energy Agency, 1999).

### Situación actual y tendencias

La electricidad fue fuente de energía de mayor crecimiento mundial en el siglo pasado y en lo que va de este seguirá esa tendencia.

En los países de la OCDE la tasa de crecimiento anual será más moderada (1.1%), que en los países que no pertenecen a la OCDE (3.1%), que son el resto del mundo. En el 2010 la generación en los países de la OCDE fue de 10.3 miles de TWh ligeramente mayor que en los países No-OCDE que fue de 9.9 miles de TWh. Se puede observar en la figura 1 que para el 2040 la generación de los países de No-OCDE será 75% mayor que en los de la OCDE, esto debido a que en los países No-OCDE todavía existe un porcentaje importante de la población que todavía no tiene acceso a los servicios de electricidad. Ver tabla 1.

Tabla 1. Generación anual por tecnología OCDE y no-OCDE 2010-2040 (Miles TWh)

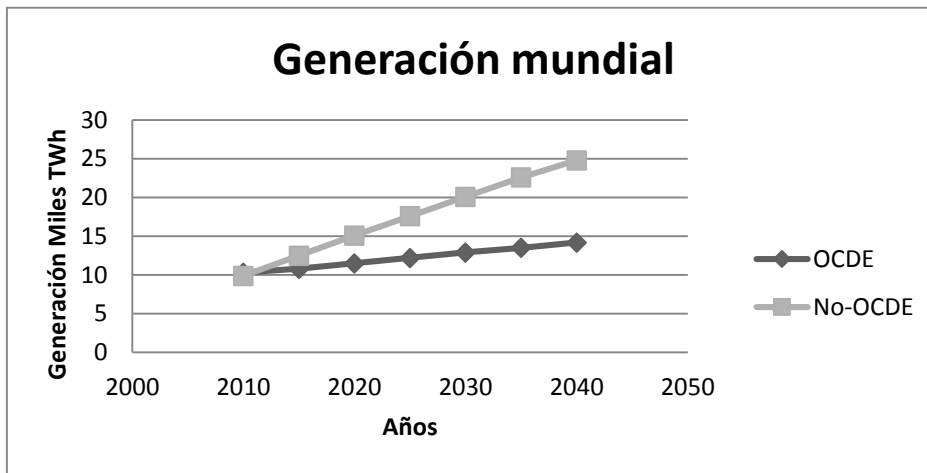
OCDE	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	Porcentaje de cambio promedio anual
Líquidos	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-1.1
Gas natural	2.4	2.7	2.9	3.1	3.5	3.9	4.3	2.0
Carbón	3.5	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	-0.2
Nuclear	2.2	2.1	2.4	2.6	2.7	2.7	2.7	0.7
Renovables	1.9	2.4	2.8	3.0	3.2	3.4	3.7	2.2
<b>Total OCDE</b>	<b>10.3</b>	<b>10.8</b>	<b>11.5</b>	<b>12.2</b>	<b>12.9</b>	<b>13.5</b>	<b>14.2</b>	<b>1.1</b>
No-OCDE								
Líquidos	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	-0.9
Gas natural	2.1	2.3	2.6	3.1	3.7	4.4	5.0	3.0
Carbón	4.6	5.9	6.9	8.0	9.0	9.9	10.6	2.9
Nuclear	0.4	0.8	1.3	1.7	2.1	2.5	2.8	6.3
Renovables	2.2	2.9	3.7	4.2	4.7	5.3	5.9	3.3
<b>Total no-OCDE</b>	<b>9.9</b>	<b>12.5</b>	<b>15.1</b>	<b>17.6</b>	<b>20.1</b>	<b>22.6</b>	<b>24.8</b>	<b>3.1</b>
Mundial								
Líquidos	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	-1.0

Gas natural	4.5	5.0	5.5	6.2	7.2	8.3	9.4	2.5
Carbón	8.1	9.2	10.1	11.3	12.3	13.2	13.9	1.8
Nuclear	2.6	2.9	3.6	4.3	4.8	5.1	5.5	2.5
Renovables	4.2	5.3	6.5	7.2	7.9	8.8	9.6	2.8
Total Mundial	<b>20.2</b>	<b>23.3</b>	<b>26.6</b>	<b>29.8</b>	<b>33.0</b>	<b>36.2</b>	<b>39.0</b>	<b>2.2</b>

Fuente: International Energy Agency, 2013.

En la tabla 1 se puede observar para los países de la OCDE la tasa de crecimiento anual promedio para el periodo 2010 a 2040 es de 1.1% anual, mientras que para los países NO-OCDE es del 3.1% anual.

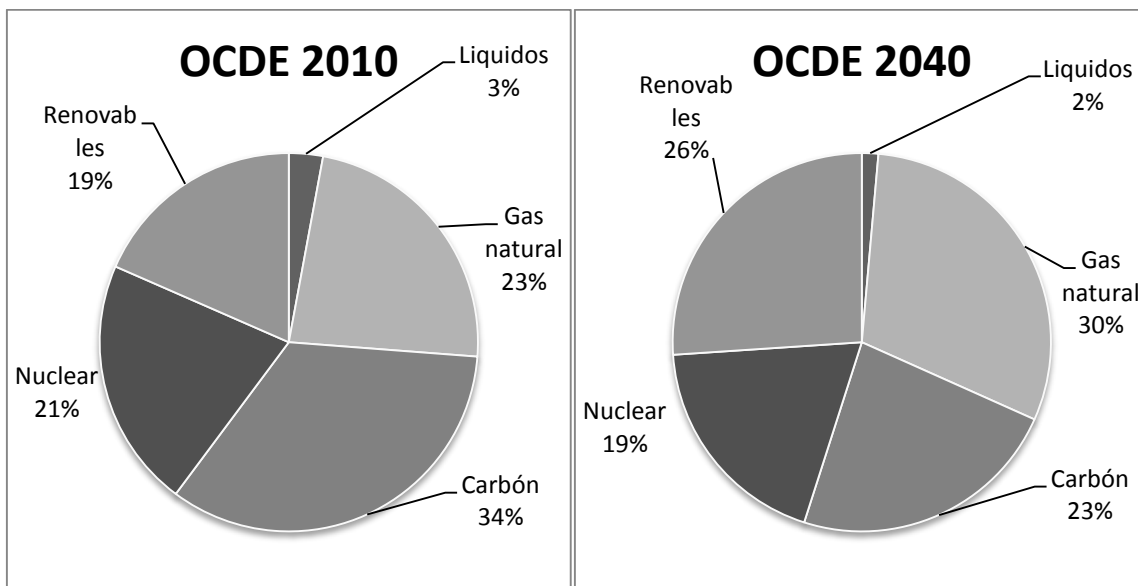
Figura 1. Generación anual mundial.



Fuente: International Energy Agency

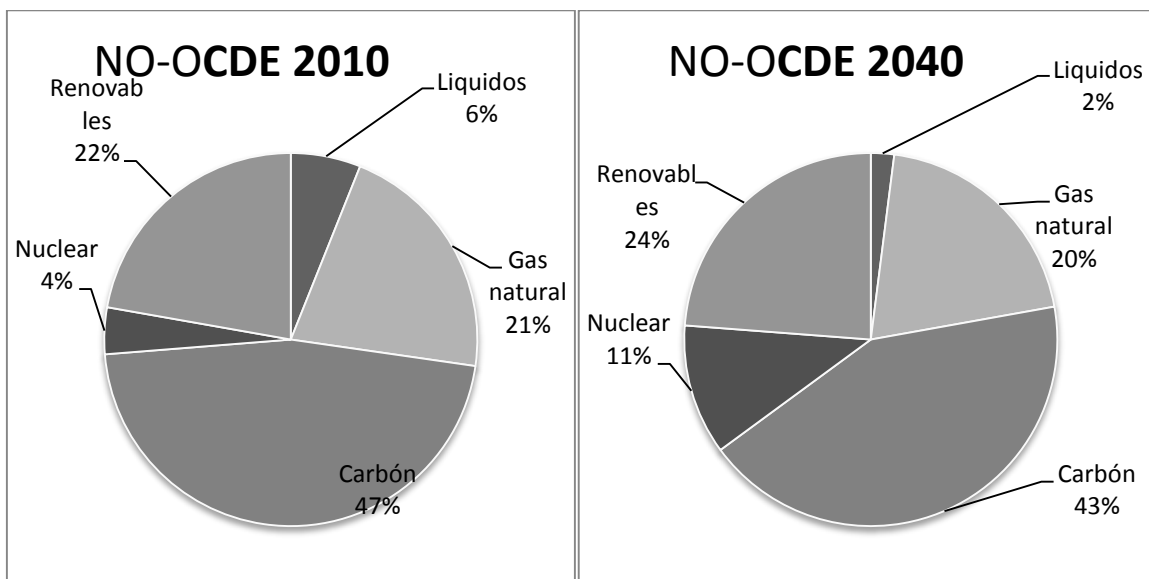
En la figura 2 se puede ver como la participación de las energías renovables y del gas natural crecerán 7% al 2040 para llegar a 26% y 30% respectivamente.

Figura 2. Participación por tecnología países OCDE 2010 vs 2040



Fuente: International Energy Agency

Figura 3. Participación por tecnología países NO-OCDE 2010 vs 2040

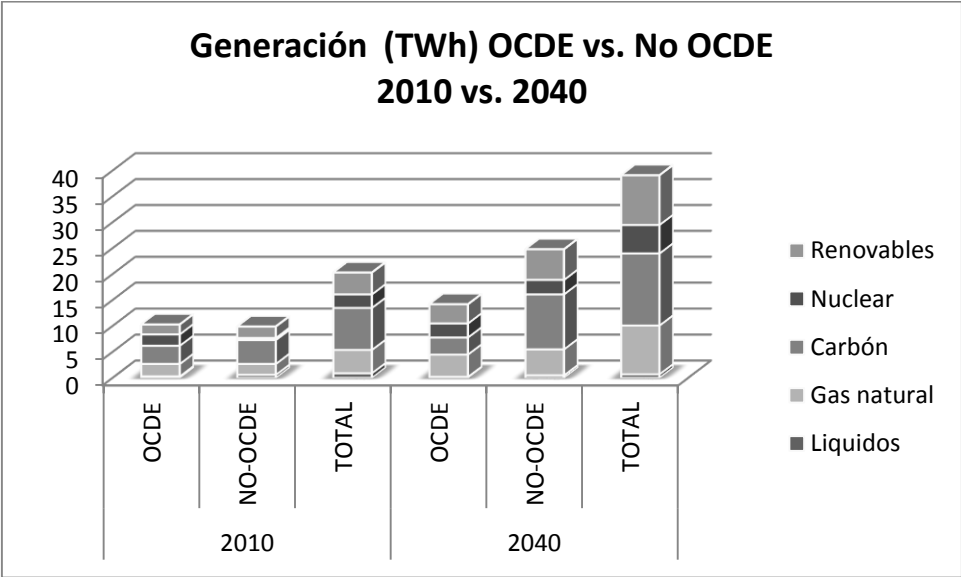


Fuente: International Energy Agency

En la figura 3 se ve que la energía que presenta un mayor incremento en los países NO-OCDE es la energía nuclear pasando de una participación del 4% a una del 11% y la que más decrece es la de los líquidos fósiles.

La generación de electricidad mundial a 2010 fue de 20.2 millones de MWh y se incrementará para el año 2040 en 93% para llegar a una generación de 39 millones de MWh. La electricidad es la energía de más rápido crecimiento en el mundo, del 2010 al 2040 crecerá a una tasa del 2.2% anual comparada con un crecimiento de 1.4% de las demás fuentes entregadas a usuarios finales, este crecimiento es más lento en los países de la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico) 1.1% para el periodo 2010-2040, que en los países no pertenecientes a dicha organización, que es de un 3.6% para el mismo periodo. La Agencia Internacional de Energía estima que el 19% de la población mundial no tenía acceso a la electricidad en 2010, lo cual representa alrededor de 1,300 millones de personas.

Figura 4 Generación (TWh) 2010 vs. 2040



Fuente: International Energy Agency

**Tendencias históricas y actuales de la inversión en generación.**

La inversión mundial en el sector de electricidad alcanzó los 6.1 trillones de dólares en el periodo de 2000 a 2012, con una inversión promedio anual de 470 billones de dólares, esta inversión incluye: instalación de nuevas centrales, repotenciación, reemplazo de centrales viejas, así como las inversiones en redes de transmisión y distribución.

La inversión en centrales de generación creció de 130 billones en el año 2000 a 415 billones en el año 2012, lo que representó un incremento sostenido promedio del 10% anual. La inversión en nuevas tecnologías de generación llegó a su máximo histórico en el año de 2011 y en el 2012 decreció como resultado de la reducción del costo de plantas fotovoltaicas. La inversión en

generación para el periodo mencionado varía considerablemente de una región a otra reflejando las diferencias en el crecimiento de la demanda de energía eléctrica, recursos invertidos, políticas y competencia entre tecnologías.

En los países No-OCDE, la inversión fue impulsada por la necesidad de alcanzar el rápido crecimiento de la demanda de electricidad, la cual creció a un 6.5% promedio anual en el periodo 2000 – 2012. En promedio se gastaron en el periodo 244 billones anuales de los cuales el 35% fue para redes de transmisión y distribución, el resto se destinó a la construcción de centrales de generación. De entre los países no-OCDE, China representó el 60% de la inversión en nuevas centrales de generación.

### Estructura de la industria

La estructura de la industria se define como la forma en que están organizadas las empresas para prestar el servicio. Las características son: la concentración de la propiedad (monopolio, oligopolio), el grado de integración vertical, es decir que la misma empresa desarrolla todas las actividades de la cadena de suministro, (generación, transmisión, distribución y suministro), el grado de integración horizontal, (la distribución del mercado entre competidores) el origen de los propietarios (estatales o privados). La estructura industrial varía ampliamente dentro de los países de la OCDE en las tablas 2 y 3 se puede ver la estructura de diferentes países.

Tabla 2. Estructura de países de la OCDE

País	Grado de Integración Horizontal			Integración Vertical
	Generación	Transmisión	Distribución	
<b>Australia</b>	mixto* ↘	alto	mixto * ↘	mixto* ↘
<b>Austria</b>	Moderado	moderado	moderado	alto
<b>Bélgica</b>	Alto	alto	moderado	bajo
<b>Canadá</b>	moderado	moderado	moderado	alto
<b>Dinamarca</b>	bajo	moderado	bajo	moderado **
<b>Finlandia</b>	moderado / alto	moderado / alto	moderado	moderado **
<b>Francia</b>	Alto	alto	alto	alto
<b>Alemania</b>	moderado	moderado	bajo	mixto
<b>Grecia</b>	Alto	alto	alto	alto
<b>Irlanda</b>	Alto	alto	alto	alto
<b>Italia</b>	Alto	alto	alto	alto ↘
<b>Japón</b>	moderado	moderado	moderado	alto
<b>Holanda</b>	moderado ↗	alto	low	moderado **
<b>Nueva Zelanda</b>	moderado ↘	alto	bajo	bajo
<b>Noruega</b>	bajo	alto	bajo	bajo
<b>Portugal</b>	alto ↘	alto	moderado	bajo
<b>España</b>	moderado ↘	alto	moderado	moderado **



<b>Suecia</b>	moderado	alto	moderado	bajo
<b>Suiza</b>	bajo	moderado	bajo	bajo
<b>Turquía</b>	Alto	alto	alto	Alto
<b>Inglaterra y Gales</b>	moderado ↘	alto	bajo	Bajo
<b>Estados Unidos</b>	bajo	bajo	bajo	Mixto
<p>* "Mixto" significa que las diferentes empresas de servicios públicos tienen totalmen diferentes grados de integración.  ** “Moderado” significa que las actividades de la cadena de suministro no están totalmente integradas verticalmente dentro de las empresas.</p>				

Fuente: International Energy Agency

Tabla 3 Patrones de propiedad en los países de la OCDE

<b>Predominantemente Público</b>	<b>Mixto</b>	<b>Predominantemente Privado</b>
México	Austria	Australia (Victoria)
Canadá	Bélgica (distribución)	Bélgica (Gen y Trans)
Francia	Dinamarca	Japón
Grecia	Finlandia	España
Irlanda	Alemania	Reino Unido
Italia	Suecia	
Holanda	Suiza (Gen. Y Trans.)	
Nueva Zelanda	Estados Unidos	
Noruega		
Portugal		
Suiza (distribución)		
Turquía		

Fuente: International Energy Agency

### **Propiedad de los activos de generación**

Las reformas regulatorias del sector eléctrico consisten en una interacción compleja de factores. Hay una relación dinámica entre reestructuración, cambios de propiedad, cambios regulatorios, cambios en las instituciones reguladoras y la introducción de la competencia. Las reformas son prerequisites para la introducción de la competencia, especialmente si la industria está integrada verticalmente y horizontalmente concentrada.

Las causas que originaron las reformas del sector eléctrico en casi todos los países de la OCDE, obedecen a factores técnicos, económicos y políticos. El principal factor técnico es el desarrollo de

las turbinas de ciclo combinado que hizo posible la generación a precios competitivos con una inversión relativamente baja. El factor político principal es que los gobiernos de los países, ven la oportunidad de pasarle al sector privado la responsabilidad de la inversión en el sector eléctrico, para el gobierno hacer mayor gasto social, así como la atracción de capital extranjero. De lo económico podemos decir en que los mercados de energía ha crecido de manera importante, tanto la electricidad como el desarrollo de la interconexión entre los sistemas de gas natural y los de generación de electricidad.

Los proyectos de inversión en generación son diversos y por lo tanto están sujetos a una diversidad de riesgos. Éstos son llevados a cabo por un gran número heterogéneo de inversionistas, que siguen diferentes estrategias de negocio, tienen diferentes estilos de administración y expectativas, operan en distintos sistemas legislativos y fiscales y tienen diferentes portafolios de activos.

Los proyectos varían de escala y están sujetos a factores específicos de cada país, tales como el acceso a la infraestructura de suministro de combustible, de agua, legislación ambiental y aceptación pública.

Los proyectos de inversión en generación eléctrica requieren una gran cantidad de productos y servicios financieros.

El cómo, una inversión particular es financiada depende de la estructura de propiedad, perfil de riesgo rendimiento y de la regulación general y al entorno de mercado.

La propiedad de los activos de generación determina las fuentes de financiamiento. Los gobiernos a través de diferentes formas de empresas estatales son propietarios de casi la mitad de la capacidad instalada actual.

Dos terceras partes de los propietarios privados y casi 40% de las compañías de participación estatal están listadas en mercados accionarios y por lo tanto disponibles a inversionistas globales. Las compañías que participan en mercados accionarios tienen un acceso más fácil al financiamiento dado que requieren de transparencia y estándares de gobierno corporativo que pueden incrementar la eficiencia en la administración.

La propiedad de activos renovables no hidroeléctricos alcanza cerca del 10% de la capacidad global y difiere de la de los de combustible fósil, nuclear o grandes hidroeléctricas, éstas últimas tienen una gran experiencia para atraer financiamiento, ya que pueden emitir acciones y bonos, están bien posicionadas para invertir en proyectos de gran escala como hidroeléctricas o plantas eólicas en el

mar o parques solares de gran escala, con la oportunidad de elevar el capital del portafolio de sus inversiones más que de un proyecto individual.

La expansión de capacidad de energía renovable distribuida, como las celdas fotovoltaicas en techos, pequeñas hidroeléctricas y eólicas o el biogás en agricultura, dan oportunidades a nuevos inversionistas. Pero la escala es tan pequeña que tienden a tener costos elevados, más allá de que deben cumplir con las regulaciones de cada país, tales como consideraciones de demanda y conexión a la red de distribución. Este tipo de inversionistas es muy grande en Europa, mientras que en Estados Unidos y China son las grandes empresas las que están llevando a cabo la expansión de las energías renovables. La expansión de activos de generación de energía renovable en los hogares y pequeñas compañías depende más de fuentes externas de financiamiento.

En la década del 2002 al 2012, alrededor del 60% de la inversión en nueva capacidad de generación de compañías que cotizan en bolsa en los países de la OCDE fue financiada con utilidades retenidas, esto fue similar tanto para las privadas como para las de participación estatal, mientras que en los países que no pertenecen a la OCDE los inversionistas privados financiaron sus proyectos con alrededor del 70% y la empresas estatales se financiaron más con retención de utilidades, alrededor del 60%. La prioridad para las empresas con mayoría estatal es extender la cobertura de servicios de electricidad a la población, mientras que los privados se enfocan en el pago de dividendos. Por lo que las empresas estatales pueden reinvertir una mayor parte de su flujo de caja que su contraparte de los países de la OCDE. (International Energy Agency, 2014).

### **Decisiones de inversión en generación**

En la industria eléctrica mundial las decisiones de inversión en generación de energía son tomadas dependiendo del modelo de la industria eléctrica del país, básicamente se pueden establecer dos extremos, por un lado están los países que tienen una industria eléctrica centralizada y en el otro extremo los que adoptaron una industria participando en un mercado libre no integrada verticalmente y con muchos participantes.

Una industria eléctrica centralizada es aquella en donde los segmentos de la cadena de suministro, generación, transmisión y distribución están concentrados en una sola empresa que es generalmente gubernamental, tiene como origen principal la existencia de condiciones de monopolio natural y las características de bien público de los servicios eléctricos.

En los mercados centralizados el principal objetivo es darle seguridad al sistema, es decir cubrir la demanda, debido a esto generalmente se tiende a la sobreinversión en activos de capital. Las

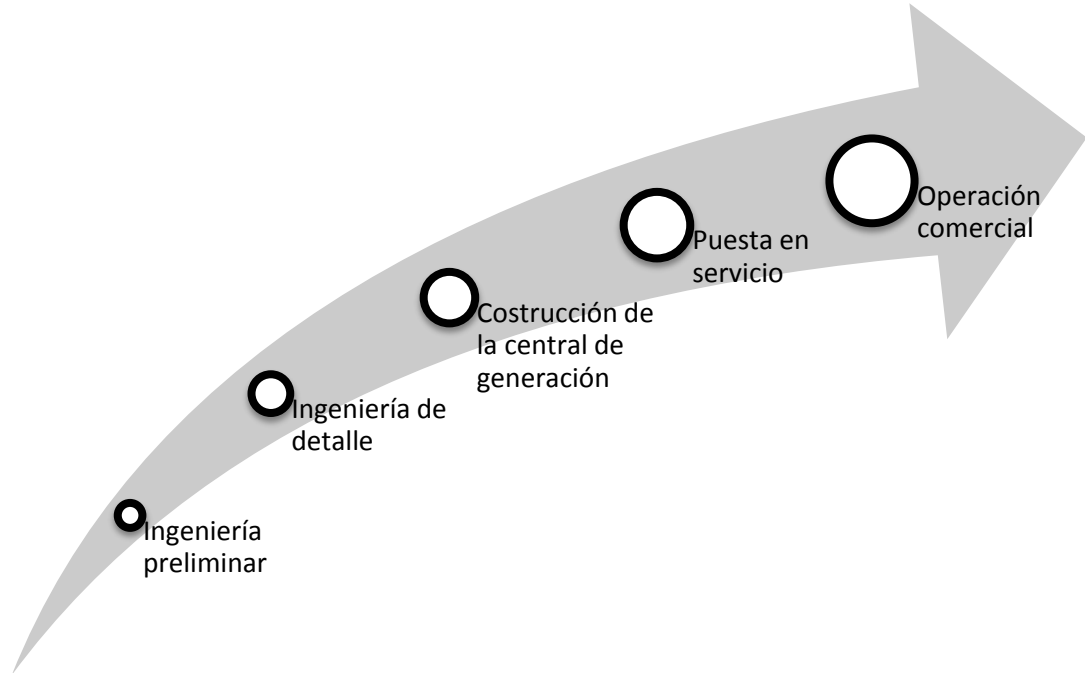
decisiones sobre la inversión en generación son tomadas en su totalidad de manera centralizada, muchas veces, sobre bases políticas, debido a que hay proyectos de generación que lucen más y sirven para distribuir riqueza a ciertas zonas de un país, como ejemplo están los proyectos hidroeléctricos por las dimensiones de las obras.

Un mercado libre es aquel en el que existe una separación en los tres elementos de la cadena de suministro, generación, transmisión y distribución, es decir que no existe una integración vertical y existen esquemas de acceso abierto para la participación de agentes en la generación y en algunos casos en el suministro, tanto la transmisión como la distribución se consideran monopolios naturales y son controlados por un organismo independiente que se encarga del despacho de carga, cualquier agente puede hacer uso de la red de transmisión y de la distribución en igualdad de condiciones, es decir, se cobra el transporte de la energía en forma equitativa. En este tipo de mercado el gobierno no interviene en las decisiones sobre inversión, éstas las toman los particulares asumiendo la totalidad de los riesgos.

Para los dos tipos de mercado pueden identificarse cuatro características generales de la inversión para el sector eléctrico. En primer lugar, las inversiones son parcialmente o totalmente irreversibles y una vez hechas el costo de capital puede ser considerado hundido. En segundo lugar, la incertidumbre siempre está presente para los costos y rendimientos futuros. En tercer lugar, la inversión puede tener lugar en un espacio de tiempo flexible. Es decir, la inversión puede tener lugar hoy si los rendimientos se esperan que sean lo suficientemente altos para recuperar todos los costos o puede ser pospuesta para obtener más información. Los inversionistas tienen la oportunidad u opción pero no la obligación de invertir en un proyecto en un período de tiempo. Por último, varias tecnologías diferentes pueden utilizarse para generar, se puede tomar la decisión de inversión dependiendo de las tecnologías disponibles y sus incertidumbres asociadas. (Lundmark R., 2007).

Las decisiones para invertir en generación son realizadas secuencialmente iniciando por la ingeniería preliminar, seguida por la ingeniería de detalle, aquí se realizan todos los dibujos constructivos y las especificaciones para compra de equipos y materiales y cuando esta lleva el 30% de avance se inicia el proceso de construcción de la central, y por último el periodo de puesta en servicio y la operación comercial.

Figura 5. Etapas de un proyecto de generación.



Fuente: Elaboración Propia

Es con la etapa de ingeniería preliminar con la que los inversionistas toman la decisión de la realización del proyecto. La ingeniería preliminar debe contemplar cuando menos, el estudio de mercado, la determinación de la capacidad, el estudio de localización del sitio, la selección de tecnología, la manifestación de impacto ambiental, evaluación técnico económica, estudio de las fuentes de financiamiento, el establecimiento del programa del proyecto y la fecha de operación comercial. En la figura 1 se muestran las etapas de un proyecto de generación eléctrica. En cada etapa el inversionista puede retirarse, aunque las pérdidas a medida que avanza el proyecto son mayores.

#### **Factores clave para la inversión en generación.**

Los factores clave para la toma de decisiones en materia de inversión en generación por el riesgo que meten a la decisión son los precios de la electricidad y selección de la tecnología.

En un mercado competitivo el precio de la energía es fijado por la oferta y demanda de electricidad. El mercado determina el orden de entrada de las centrales generadoras de acuerdo a sus costos variables (costos de combustible). Este precio es incierto debido a gran cantidad de factores siendo los principales, la variabilidad de la demanda, el precio de los combustibles, la entrada y la salida de generadores.

El precio spot a cualquier hora del día está dado por los costos marginales del último generador despachado (o sea el más caro) y los demás generadores recibirán el mismo precio del generador marginal. Si el precio spot promedio es alto, los inversionistas tomarán la decisión de instalar una nueva central y por el contrario si dicho precio es bajo se pospondrá la decisión para otro momento más oportuno.

La otra forma de fijar el precio es mediante contratos a largo plazo, aquí el inversionista generador realiza un contrato a largo plazo con alguna otra empresa y se fija un precio de la electricidad en dicho contrato, esto puede resultar ventajoso o no, porque de antemano se garantiza una utilidad, esta estrategia es buena porque ofrece certidumbre al consumidor de obtener la energía a un precio determinado, en los contratos se pueden establecer formas de ajuste de precios por variaciones en el precio de combustible.

Existe una diversidad amplia de tecnologías de generación eléctrica, sin embargo la elección de la alternativa más eficiente desde el punto de vista del inversionista depende de sus ventajas competitivas y flexibilidades, capacidades operacionales y tecnológicas, del estado actual y de las proyecciones del mercado eléctrico en el cual está interesado en participar.

Cada tecnología tiene ventajas, desventajas y riesgos para los inversionistas, en la tabla 4 se comparan las características más importantes de las principales tecnologías de generación de energía eléctrica el otro problema relacionado con la selección de la tecnología es la conformación del portafolio de activos de generación propios de la empresa ya que una concentración de activos en una sola tecnología traería mayores riesgos, los cuales pueden ser reducidos por la diversificación de su parque de generación.

Tabla 4. Comparación de características de tecnologías de generación

Tecnología	Tamaño unidad	Tiempo Entrega	Costo de capital	Costo de operación	Costo de combustible	Emisiones CO <sub>2</sub>	Riesgo regulatorio
Ciclo Comb.	Medio	Corto	Bajo	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Carbón	Largo	Largo	Alto	Medio	Medio	Alto	Alto
Nuclear	Muy grande	Largo	Alto	Medio	Bajo	-	Alto
Hidro	Muy grande	Largo	Muy alto	Muy bajo	-	.	Alto
Eólica	Pequeño	Corto	Alto	Muy bajo	l-	-	Medio
Combustión interna	Pequeño	Muy corto	bajo	bajo	Alto	Medio	Medio
Celdas de combustible	Pequeño	Muy corto	Muy alto	Medio	Alto	Medio	Bajo

Fotovoltaica	Muy pequeña	Muy corto	Muy alto	Muy bajo	-	-	Bajo
--------------	-------------	-----------	----------	----------	---	---	------

Fuente: International Energy Agency

### **Centrales de combustibles líquidos (Combustóleo y diésel).**

Estas son centrales con un costo de inversión moderado pero con altos costos de combustible, por ser altamente contaminantes su uso ha decrecido y su proyección es seguir decreciendo.

### **Centrales de ciclo combinado (gas natural)**

Estas centrales son de una eficiencia alta, de costo bajo de instalación y el costo de combustible moderado, estas son las centrales más usadas desde la implementación de reformas en el mundo. No todos los países del mundo tiene gas natural y el riesgo en el futuro es que está sujeto a agotamiento y conforme la oferta disminuya los precios se incrementaran.

### **Centrales geotérmicas.**

Las centrales geotérmicas requieren de vapor endógeno del subsuelo que se genera por filtraciones magmáticas que calientan yacimientos de agua atrapados en el subsuelo. El costo de exploración y perforación de pozos es alto y el tiempo de instalación es largo, está limitado a zonas geotérmicas. Existe riesgo de agotamiento de vapor por sobre explotación.

### **Centrales hidroeléctricas**

Las centrales hidroeléctricas normalmente son grandes proyectos, dependen del afluente de un río, son de costo de capital muy grande y muy bajo costo de operación, debido a que se requieren grandes cantidades de tierras, causa conflictos sociales y demográficos. Para que puedan operar como carga base se requiere de ríos con afluentes muy grandes y constantes, no obstante están sujetos a variaciones en el clima.

### **Centrales eólicas**

Son muy rápidas de instalar su costo de capital es alto y su operación es más o menos económica, el problema es que no puede considerarse para despacho de carga, por la eventualidad del viento. El riesgo es la variabilidad del viento.

### **Centrales solares**

El costo de la solares fotovoltaicas es alto, se requiere su instalación en zonas de alta radiación solar para que el costo del kWh no sea tan alto. Se requieren zonas muy grandes para poner los espejos solares.

### **Centrales de biomasa**

La biomasa es una alternativa de autogeneración rural excelente ya que utiliza materia orgánica para ser quemada, como desperdicio de madera, barbasco de los cultivos, de caña, maíz, etc. Tiene emisiones medias de bióxido de carbono.

### **Centrales nucleares**

El costo de capital de las centrales nucleares es muy alto, el periodo de construcción es muy largo, el costo de combustible es muy bajo, no emite gases de efecto invernadero, pero presenta un rechazo social porque los problemas que han existido a nivel internacional se han sobre dimensionado, los más recientes son los de la central de Fukushima en Japón, aunque la realidad es que si se quiere reducir la emisión de gases de efecto invernadero ésta es la única solución en el futuro para generar energía limpia.

El problema ambiental, específicamente el del calentamiento global mete una gran incertidumbre en las decisiones futuras ya que de acuerdo a los acuerdos del protocolo de Kyoto, es necesario reducir la emisión de gases de efecto invernadero, el más importante es el bióxido de carbono, para evitar que se eleve la temperatura de la tierra en 2°C para el año 2050. Es posible que en los próximos años las medidas ambientales en todos los países sean más restrictivas por lo que tomará más importancia al momento de seleccionar la tecnología.

## **CONCLUSIONES**

En los países donde se tiene un modelo centralizado las decisiones sobre inversión en generación no tienen prácticamente ningún problema, porque no tienen riesgos asociados con el retorno de la inversión, ya que por su estructura monopólica y su integración vertical y horizontal solamente pasan los costos al consumidor por la vía del precio de la electricidad. Lo anterior ocasiona distorsiones en la economía porque se pasa un sobre costo a la sociedad en general, pero particularmente al sector industrial que tiene que competir en un mercado globalizado con costos altos en uno de los principales insumos de la producción.

Muchas de las decisiones de inversión en generación son secuenciales y se realizan no importando el modelo estructural del país. La decisión de si se realiza o no la inversión se hace en la etapa de ingeniería preliminar, por lo que es de vital importancia contar con buenos estudios técnicos y económicos.

Las empresas centralizadas en un momento determinado resolvieron una serie de problemas, siendo el principal la distribución de energía a zonas rurales que ninguna empresa privada llevaría por no



ser rentable, además de haber dado certidumbre en el suministro y logrado economías en la coordinación entre la generación y la transmisión de electricidad.

Un problema que se presenta en los mercados centralizados es que otorgan subsidios a las tarifas para beneficiar a ciertos sectores y generalmente se hacen con fines políticos, esto lleva a que las empresas gubernamentales de producción de electricidad presenten pérdidas en sus estados financieros.

En los países con un mercado liberalizado se observa una mayor eficiencia y productividad, pero también un mayor riesgo al inversionista privado que arriesga su capital para obtener utilidades.

Los mercados liberalizados han mostrado ser eficientes en condiciones normales de oferta y demanda, ya que se promueve la productividad porque los precios de venta de los generadores están sujetos a competencia. Por lo anterior los precios de la electricidad muestran volatilidad y por lo tanto riesgo, si los precios son altos la decisión de los inversionistas será la de entrar a invertir, situación que permanecerá hasta que se cree una sobre oferta y los precios de la electricidad bajen y en esta situación la decisión del inversionista será posponer la decisión hasta que existan mejores condiciones para alcanzar la tasa de retorno esperada por ellos, esta situación puede crear desabasto en el mercado, por lo que los gobiernos deben de regular dichas situaciones.

Respecto a la tecnología vemos que en los países de la OCDE, en las proyecciones que hace la Agencia Internacional de Energía, en sus portafolios de activos, las energías renovables aumentan al 2040 en 7%, mientras la generación con energía nuclear decrece 2%, motivado por el rechazo social que existe en los países desarrollados,. Por otro lado en los países que no pertenecen a la OCDE, la generación con renovables incrementa solo el 2% y la de energía nuclear pasa de una participación de 4% en 2010 al 11% en 2040.

Dado que la selección de la tecnología tiene que ver con el medio ambiente cobra una doble importancia este paso, ya que la sustentabilidad del planeta está en riesgo. Por un lado se sigue impulsando el desarrollo de generación por combustibles fósiles, lo que provocará su agotamiento más pronto y por lo tanto su encarecimiento y por el otro solo se está pensando en desarrollar energías renovables, como la solar y la del viento, que si bien son necesarias, no representan la solución al medio ambiente, dadas sus características de intermitencia. Se tendría que estar pensando en aumentar significativamente la generación con energía nuclear, por ser una energía limpia, pero además existen tecnologías que pueden hacer que el combustible nuclear pueda ser reutilizado ilimitadamente. Los incidentes que han ocurrido, han traído grandes aprendizajes a la

industria nuclear. Al parecer los intereses económicos de los productores de combustibles fósiles son los que mueven las decisiones.

## REFERENCIAS

- Averch, H. y. (1962). Behaviour of the firm under regulatory constraint. *American Economic Review*, 1052-1069.
- Bar-Lev, D. K. (1976). A portfolio approach to fossil fuel procurement in the electric utility industry. *The Journal Finance*, 933-947.
- Benninga, S. (2000). *Financial Modeling*. Massachusetts: MIT Press.
- Blank, L. T. (1987). *Ingeniería Económica*. México: McGraw Hill.
- Chen, H. (2008). Value at risk efficient portfolio selection using goal programming. *Review of Pacific basin financial markets & policies*, 187-200.
- Comisión Federal de Electricidad. (2005). Seminario Evaluación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico. Morelia, Michoacán, México.
- Delarue, E. D. (2011). Applying portfolio theory to the electricity sector: Energy versus Power. *Energy Economics*, 12-23.
- Frazer, P. (2003). *Power Generation Investment in Electricity Markets*. Paris: Publications Service, OECD/IEA.
- Gutjahr, W. (2011). Optimal dynamic portfolio selection for projects under a competence development model. *OR Spectrum*, 173-206.
- International Energy Agency. (1999). *Energy Market Reform. An IEA Handbook*. Paris: Head of Publications Service, OECD.
- International Energy Agency. (2013). *International Energy Outlook 2012*. Paris: Publications Service, OECD.
- International Energy Agency. (2014). *World Energy Investment Outlook*. Paris: Publications Service, OCDE.
- Kucko, I. (2007). Investment fund portfolio selection strategy. *Business: Theory & Practice*, 214-220.
- Lundmark R., F. P. (2007). Investment Decisions and Uncertainty in the Power Generation Sector. *Luleå University of Technology*.
- Subdirección de Programación CFE. (2005, Diciembre 1 y 2). Planificación del sistema eléctrico nacional. *SEMINARIO SOBRE EVALUACIÓN DE PROYECTOS EN EL SECTOR ELÉCTRICO*. Morelia, Michoacán, México.