

# Fuentes de Generación de Energía Eléctrica Convencional y Renovable a Nivel Mundial

J. Rosero\*; L. Garza\*\*; L. Minchala\*\*; D. Pozo\*; L. Morales\*

\*Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Automatización y Control Industrial

e-mail: {jorge.rosero;david.pozo;luis.moralesec}@epn.edu.ec

\*\*Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

e-mail: {legarza;li.minchala.phd.mty}@itesm.mx

---

**Resumen:** Actualmente la energía eléctrica es generada en su gran mayoría, por fuentes que consumen combustibles fósiles y/o energía nuclear, con los consecuentes riesgos y daños al medio ambiente que esto representa; esto sumado al aumento en los precios internacionales del petróleo, su inevitable agotamiento, la demanda de grandes cantidades de energía y el envejecimiento de las redes actuales, han hecho que en los últimos años se de un importante impulso y desarrollo a la generación de electricidad basada en fuentes renovables de energía que ha permitido incrementar de manera exponencial su aporte a nivel mundial. En este documento se presenta un análisis de las principales fuentes de generación de energía eléctrica, tanto convencionales como renovables, que se basa en una recopilación de datos históricos y estadísticos de producción, consumo, crecimiento y reservas, los mismos que permiten identificar a los países y regiones líderes en cada área.

**Palabras claves:** Combustible Fósil, Fuentes Renovables, Red Eléctrica.

**Abstract:** Currently, electric power is generated in its vast majority, for sources that consume fossil fuels and/or nuclear energy, with consequent risks and environmental damage that represents, this added to the increase in international oil prices, the inevitable exhaustion, the demand for large amounts of energy and aging current networks have made in the last years a significant development momentum and the generation of electricity from renewable sources of energy which has increased its contribution exponentially worldwide. This paper presents an analysis of the main sources of electric power generation, both conventional and renewable, which is based on a compilation of historical and statistical data on production, consumption, and reserves growth, enabling them to identify the countries and regions leaders in each area.

**Keywords:** Fossil Fuels, Renewable Sources, Electric Grid.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Un sistema eléctrico de potencia típico, está compuesto por tres grandes subsistemas: Sistema de Generación, Sistema de Distribución y Sistema de Consumidores; la red actual es fundamentalmente jerárquica y unidireccional, como se aprecia en la Figura 1, con bajos niveles de eficiencia (convierte únicamente una tercera parte del combustible consumido en electricidad) y

grandes pérdidas en las líneas de transmisión (casi el 8% de su generación), mientras que un alto porcentaje de esta potencia es usada durante pequeños intervalos de tiempo, solamente para cubrir los picos de demanda (20% de su generación) [1].

El sistema de generación eléctrico convencional está basado en combustibles fósiles, energía nuclear, gas natural y plantas hidroeléctricas; en los últimos años una pequeña cantidad de energía renovable, proveniente de turbinas eólicas, paneles solares, plantas geotérmicas, biocombustibles, biomasa y otras, se han sumando al sistema de generación renovable. Según el reporte de la U.S. Energy Information Administration (EIA) [3], la generación eléctrica en Estados Unidos es 69% basada

---

J. Rosero, D. Pozo y L. Morales están en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional en Quito Ecuador. L. Garza está en el Departamento de Mecatrónica y Automatización del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey en México. L. Minchala es estudiante de Doctorado en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Monterrey en México.

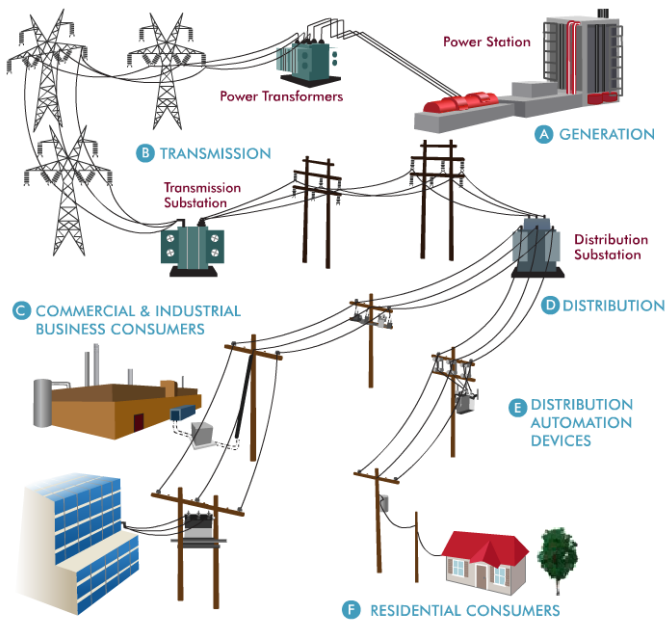


Figura 1. Sistema Eléctrico de Potencia en la actualidad [2]

en combustible fósil, 20% por energía nuclear, 6% por energía hidroeléctrica y apenas un 6% por otras fuentes de energía, entre las que se encuentran las renovables, como se aprecia en la Figura 2. Por otro lado, de acuerdo al E.I.A. Country Analysis Brief [4], la generación eléctrica en China es aproximadamente 82% basada en combustible fósil, 16% del sector hidroeléctrico y 2% gracias a otras fuentes. Además, el E.I.A. International Energy Outlook 2011 (IEO2011) [5], proyecta que la generación de electricidad neta mundial se incrementará un 84% en el 2035 con un uso predominante de carbón y gas natural y un importante desarrollo del sector hidroeléctrico y las energías renovables, como se aprecia en el Figura 3.

El combustible fósil es la principal fuente para generar electricidad, especialmente para China, que es el más grande productor y consumidor de carbón, mientras que Estados Unidos es el mayor productor y consumidor de petróleo [4], provocando que más del 50% de las emisiones de CO<sub>2</sub> sean causadas por estos dos países y la Unión Europea [6], convirtiendo a la generación y transporte de electricidad como una de las mayores causas de contaminación ambiental.

Sin embargo, más del 82% del incremento en generación de energía renovable ha sido en el sector hidroeléctrico y eólico, siendo China en el 2009, el mayor productor de energía hidroeléctrica y que actualmente construye la central hidroeléctrica más grande del mundo, "Las tres gargantas" sobre el río Yangtsé, con una potencia

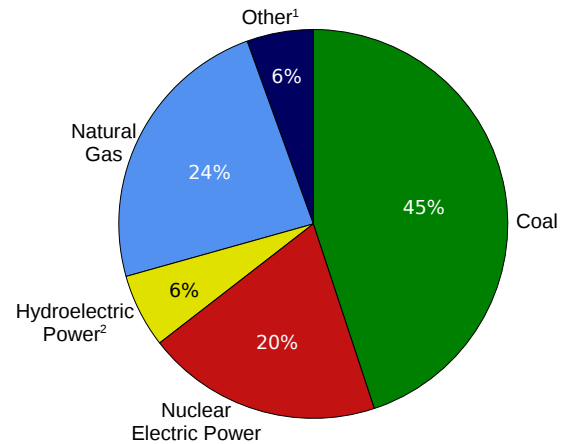


Figura 2. Generación Eléctrica de Estados Unidos en el 2010 [3].

instalada de 24GW, es decir, casi el doble que la central hidroeléctrica de Itaipú en Brasil (14 GW) [5]. Además, este país el próximo año contará con un nuevo record mundial, cuando entre en operación la tercera central hidroeléctrica más grande del mundo, Xiloudu con una potencia instalada de 13.86 GW [7].

Por otro lado, el Sistema de Distribución se realiza con ayuda de tres complejos subsistemas, como son: el de transmisión, el de subestaciones y el de despacho, los cuales fueron diseñados y construidos para llevar la electricidad desde las centrales de generación hacia los usuarios finales como se ilustra en la Figura 1, sin embargo éstos son sometidos a altos niveles de stress debido a sus condiciones de operación, como son: las variaciones bruscas de carga, presencia de armónicos y fenómenos naturales, capaces de causar graves daños sobre una red cada vez más deteriorada y sobrecargada, que la convierten en un sistema altamente vulnerable hoy en día.

El Sistema de Consumidores, según proyecciones hechas por la International Energy Agency en el World Energy Outlook 2012 [8], muestra que la población mundial crecerá de 6.8 billones de personas en el 2010 a 8.6 billones en el 2035, teniendo a futuro 1.7 billones de consumidores adicionales, principalmente en Asia y África, donde la población de la India superará la de China antes del año 2025, y para el 2035 alcanzará los 1.5 billones de habitantes, se conforma por tres grandes grupos claramente identificados: los consumidores residenciales, industriales y comerciales, los mismos que están cambiando, tanto en sus hábitos de consumo, como en el tipo de carga eléctrica que utilizan, siendo éstas en su gran mayoría formadas por dispositivos electrónicos de conmutación, los cuales inyectan grandes

cantidades de armónicos, que sumados causan graves perturbaciones en la red pública y que se traducen como pérdidas debido a los bajos factores de potencia.

Además, proyecciones hechas por la EIA en el IEO2011 [5], muestran que el consumo de energía a nivel mundial aumentará un 53% para el 2035, donde China y la India serán los que encabecen dicho incremento, con un crecimiento promedio anual del 2.3%. Hoy en día estos países lideran el crecimiento económico mundial y la demanda de energía, juntos consumieron alrededor del 10% del total de la energía mundial en 1990 y un 21% en 2008, mientras que China considera que su consumo ha sobrepasado al de Estados Unidos por primera vez en su historia. Se estima que estas dos naciones consumirán 38% más energía que el resto de países en el 2020 y 67% más en el 2035. En la Figura 4, las proyecciones muestran que el consumo de energía combinada de China e India serán el doble que la de Estados Unidos en el 2035, totalizando un 31% a nivel mundial.

Finalmente, se proyecta que los actuales y futuros consumidores demandarán cada vez más una gran cantidad de energía, que muchas veces es mal utilizada o desperdiciada debido entre otras cosas, a la mala administración del consumo de energía, convirtiéndose en actores pasivos frente a lo que sucede en los niveles superiores de distribución, sin tener la posibilidad de contribuir a reducir los picos de consumo de energía aunque ellos son los responsables directos de los mismos [9]. Para satisfacer estos requerimientos y retos, muchos países, organizaciones no gubernamentales y el sector privado están trabajando incansablemente por desarrollar e implementar un nuevo concepto del sistema eléctrico actual, denominado redes inteligentes o smart grids, las cuales se convertirán en la siguiente revolución tecnológica de la nueva era.

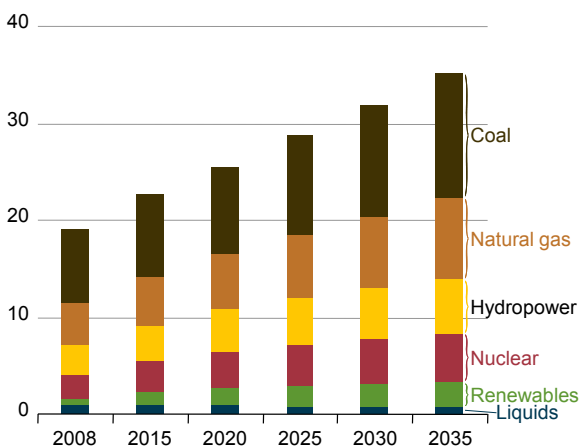


Figura 3. Generación Eléctrica Mundial Neta 2008-2035 (Trillones KWh) [5].

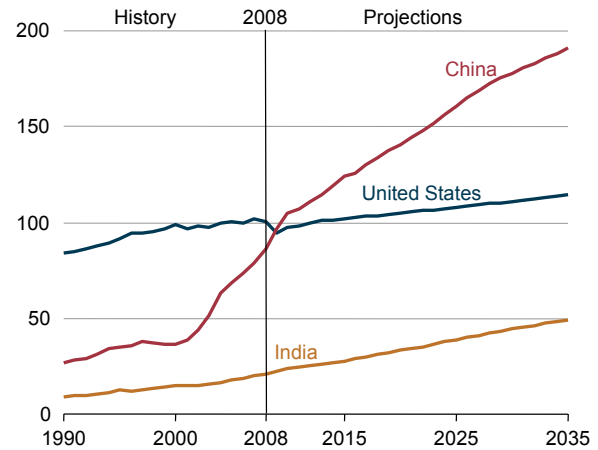


Figura 4. Consumo de Energía en EUA, China e India 1990-2035 (Quadrillones de BTU) [5].

## 2. FUENTES DE ENERGÍA

### 2.1 Carbón

De consistencia sólida, generalmente de color negro o café, con un 50% en peso o 70% en volumen de materia carbonosa, producida por la compactación y endurecimiento de residuos vegetales que vivieron y murieron hace aproximadamente 400 millones de años, el carbón es actualmente la fuente de energía más abundante sobre el planeta y sin lugar a duda, como el combustible fósil de mayor historia e importancia en el desarrollo de la humanidad, el mismo que ha sido usado desde épocas prehistóricas como fuente de calor y en la actualidad principalmente como combustible para la generación de energía eléctrica [10, 11].

La llegada de la revolución industrial jugó un papel muy importante en el desarrollo y consumo de este combustible, en 1769 James Watt patentó la máquina a vapor, un revolucionario invento que usaba carbón para producir vapor y con él generar movimiento mecánico, que hasta esa fecha era realizado por animales y/o personas [12]. En 1882 Thomas Alba Edison construyó la primera central de generación termo-eléctrica usando carbón para proveer de electricidad a algunos residentes de la ciudad de Nueva York. En 1901, la *General Electric Company* construyó la primera planta termo-eléctrica de corriente alterna en Ehrenfeld, Pennsylvania, para la *Webster Coal and Coke Company*, eliminando los problemas de transmisión a larga distancia que en ese tiempo presentaba la corriente continua [13].

Entre 1970 y 1990 la producción de carbón en Estados Unidos prácticamente se duplicó, pasando de 520 millones a casi 1.1 billones de toneladas, cifra en la cual

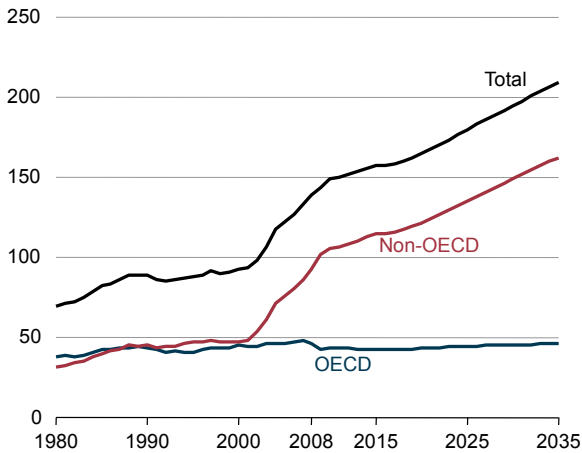


Figura 5. Consumo mundial de Carbón, 1980-2035 (QBTU) [5]

se mantuvo hasta la crisis mundial en 2009 donde se presentó un ligero descenso [3]. De acuerdo al IEO2011, actualmente el productor y consumidor de carbón más grande del mundo es China, con una producción en 2010 que bordea los 70.5 cuadrillones de BTU (QBTU) (British Thermal Unit), seguido de lejos por Estados Unidos con 22.6 QBTU; según sus predicciones el consumo mundial de carbón se incrementará en un 50 %, de 139 QBTU en 2008 a 209 QBTU en 2035, como se aprecia en la Figura 5, siendo China e India, países que no pertenecen al OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), quienes marquen dicho crecimiento [5].

Según el World Coal Association [14], el mercado más grande para el carbón actualmente es Asia, con una demanda que supera el 65 % del consumo mundial, especialmente en China donde el aumento en la demanda de energía del sector industrial y eléctrico es cubierto con este combustible; solo en 2009, este país consumió aproximadamente 3.5 billones de toneladas de este mineral, es decir, más del 46 % del consumo mundial, con un incremento de 180 % respecto al año 2000 [4]. Los mayores consumidores de carbón en el mundo son China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón que en conjunto suman un 77 % de la producción mundial [5].

Según el Global Energy Statistical Yearbook 2011, el crecimiento en la producción de carbón en 2010 se mantuvo a una tasa de 5.2 %, donde China alcanzó un crecimiento de 8.9 % principalmente para cubrir su demanda interna. En el mismo año India creció al 3 %, más lentamente respecto al 2009 (8 %), mientras que Estados Unidos el segundo mayor productor de carbón, con un mercado mundial del 15 %, tuvo un ligero decremento de 0.3 %; Indonesia por su parte, creció a un ritmo de 7.3 % (10 % en 2009) y Rusia a un nivel de 5.4 % [15].

El carbón, a nivel mundial, es usado principalmente como combustible para la generación de energía eléctrica, éste representa el 40 % del combustible destinado a dicho propósito, sin embargo se estima que para el año 2035 su aporte disminuirá al 37 %. Otros usos del carbón están en el sector industrial, en la producción de acero, procesamiento de cemento, fabricación de papel, industria farmacéutica, entre otros [14]. Se estima que el uso de carbón para la generación eléctrica en China aumente de 28.7 QBTU en 2008 a 63.4 QBTU en 2035, esto significa a una tasa de crecimiento anual de 3.0 % en comparación con Estados Unidos que crecerá a un ritmo de 0.2 % anualmente en este sector [5]. China destina aproximadamente el 80 % de carbón para generar un 80 % de energía eléctrica, es decir 2756.8 Billones de Kilowatts-hora (BKW-h) [4]. Estados Unidos por su parte, destina cerca del 92 % de carbón para generar un 45 % de energía eléctrica, lo que representa 1850.7 BKW-h [3].

En cuanto a las reservas, se estima que mundialmente existe un total de 948 billones de toneladas, lo que representa 126.3 años de disponibilidad de este combustible, con Estados Unidos a la cabeza con 260.6 billones, seguido por Rusia con 173.1 y China con 126.2, es decir que estos tres países poseen el 59 % de las reservas mundiales de carbón [10][11]. En la actualidad el carbón representa la principal fuente de energía para el mundo, China tiene una dependencia a este combustible en un 71 % [4], mientras que India un 41 % [16], Estados Unidos un 21 % [3] y Rusia un 16 % [17].

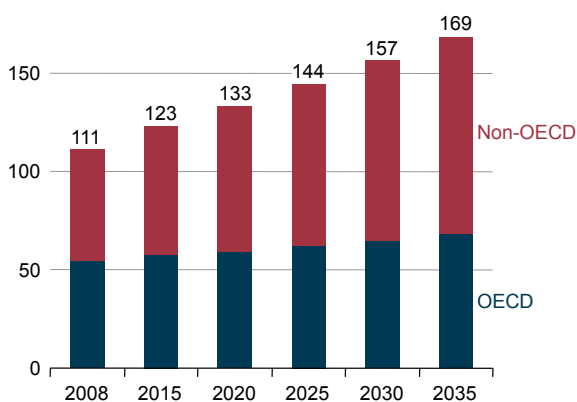
## 2.2 Gas Natural

Hidrocarburo gaseoso altamente inflamable que está compuesto principalmente de metano y etano, incoloro e inodoro y que normalmente se encuentra disuelto en petróleo a muy alta presión denominándolo gas asociado o húmedo; otras veces se lo puede encontrar sólo, es decir, sin estar en contacto con ningún líquido, llamándolo gas no asociado o seco. El gas natural es un combustible fósil que se formó por la descomposición de plantas terrestres y restos marinos hace más de 300 millones de años y actualmente representa la segunda fuente de energía más abundante del planeta y la de mayor crecimiento [18].

Fue en 1821 en Fredonia, Nueva York cuando William A. Hart taladró un pozo de 27 pies de profundidad en un esfuerzo por obtener un mayor flujo de gas proveniente de una filtración superficial; éste hecho es considerado como el primer pozo intencionalmente taladrado para obtener gas natural en América. Por mucho tiempo el

gas fue usado exclusivamente como combustible para iluminación, hasta que en el año 1885, Robert Bunsen inventó el *Quemador de Bunsen*, el cual combinaba gas con aire, permitiendo usarlo como calefacción doméstica y como fuente de calor para cocinar [19].

Una de las primeras grandes tuberías de gas fue construida en 1891, con una longitud de 120 millas (193Km), desde los pozos ubicados en Indiana hasta la ciudad de Chicago; sin embargo, no fue sino hasta después de la segunda guerra mundial cuando los avances en industria metalúrgica, nuevas técnicas de soldadura y materiales fueron desarrollados, permitiendo que se construyeran miles de millas de tuberías en Estados Unidos, llevando este combustible a nuevos mercados y convirtiendo hoy en día a esta red en una de las más grandes del mundo, a tal punto que se podría extender hasta la luna, ida y vuelta, dos veces [20].



**Figura 6.** Consumo mundial de Gas Natural, 2008-2035 (trillones de pies cúbicos) [5]

El gas natural es el combustible fósil de más rápido crecimiento a nivel mundial, con un ritmo anual de consumo promedio del 1.6 % desde el 2008 hasta el 2035, como se aprecia en la Figura 6. La demanda en los países no-OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) se incrementa casi tres veces más rápido que en los países OECD, con un crecimiento promedio del 2.3 % y 0.8 %, respectivamente, proyectado hasta el 2035. A nivel mundial los países no-OECD cuentan con alrededor del 76 % del incremento total de consumo de gas natural, mientras tanto los países OECD tienen una participación en el incremento mundial que va del 51 % en el 2008 al 59 % en el 2035.

El sector eléctrico e industrial juntos suman un incremento en la estimación de consumo de este combustible en un 87 % para el 2035. Irán y Qatar son los países que mayor producción de gas natural tienen actualmen-

te, llegando a una quinta parte de la producción mundial.

El gas natural es el combustible fósil de combustión más limpio, el mismo que produce un 50 % menos CO<sub>2</sub> que el carbón y un 30 % menos que el petróleo; es la fuente de energía primaria más eficiente y más barata del mercado, razón por la cual es usado principalmente como calefacción en hogares y oficinas, y como fuente de propulsión para maquinaria industrial y vehículos de transporte de carga; se estima que en pocos años también podrá ser usado en vehículos de transporte de pasajeros, desplazando así al petróleo que hasta ahora es usado para dichas actividades [21]. Se estima que el gas natural para aplicaciones industriales contará con un crecimiento promedio del 1.7 % hasta el 2035, mientras que en el sector eléctrico crece a una tasa promedio anual del 2.0 %. Tanto el sector industrial como el eléctrico, juntos alcanzan el 87 % de consumo de gas natural proyectado.

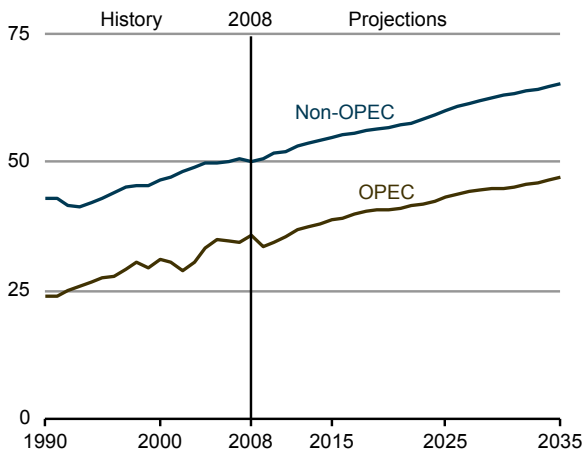
Por otro lado, las reservas mundiales han crecido un 50 % en los últimos 20 años, superando las reservas de petróleo en el mismo período, con un incremento anual de 3.1 % desde 1980. La región que más crecimiento ha tenido en sus reservas ha sido el Medio Oriente, con Irán, Qatar, Arabia y Abu Dhabi a la cabeza. Tres países poseen más del 50 % Rusia con 25.2 %, Irán 15.7 %, Qatar 13.4 %, mientras que un total de 20 países poseen el 90.9 % de las reservas mundiales [5].

### 2.3 Petróleo

Compleja mezcla de hidrocarburos que se encuentran en forma líquida, gaseosa o sólida. El petróleo se refiere normalmente a la forma líquida o también llamado *crudo*, aunque técnicamente este formado por gas y otros elementos viscosos principalmente azufre. Las fases líquidas y gaseosas, actualmente constituyen la forma de energía fósil más importante del planeta. Su formación es igual que la del carbón y por ende también se lo considera como una fuente de energía no renovable. Los antiguos Sumerios, Asirios y Babilonios, usaron este hidrocarburo hace más de 5000 años A.C. en diversas aplicaciones, mientras que los Egipcios lo usaron con fines medicinales y los Árabes y Persas como armas de guerra [22].

En 1858 el canadiense Miller Williams (1818-1890) perforó el primer pozo petrolero en América y construyó una sencilla refinería para su procesamiento, a la cual llamó *J.M Williams Company* siendo la primera empresa petrolera en América y que posteriormente en 1860 se conocería como la *Canadian Oil Company* [23]. Sin embargo, un año más tarde, el 27 de Agosto de 1859 el estadounidense Edwin L. Drake (1819-1880) perforó



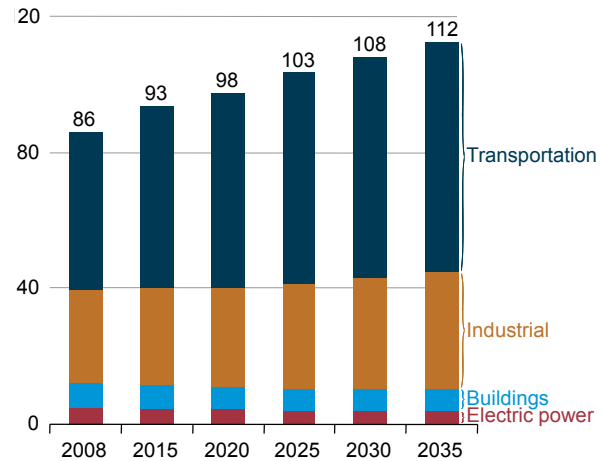


**Figura 7.** Producción mundial de combustible fósil líquido 1990-2035 (millones de barriles por día) [5]

un pozo petrolero de 69 pies de profundidad con una innovadora y revolucionaria técnica (que no la patentó) en Titusville, Pennsylvania siendo éste el punto de partida del *oro negro* en el continente Americano [24, 25].

En el 2010 la demanda de petróleo alcanzó los 86.7 millones de barriles por día y a este ritmo, para el 2035 la demanda será de 99 millones de barriles por día. Sin embargo, si se aplican políticas de reducción de CO<sub>2</sub> es posible disminuir el consumo hasta 78 millones de barriles por día. En cuanto al precio, se estima que su valor aumente hasta 120 USD/barril en el 2035. Según el IEO2011 [5], más del 75 % del incremento en el consumo de combustible líquidos será destinado a los países Asiáticos y del Medio Oriente, gracias a su próspero crecimiento económico principalmente. Para cubrir esta demanda, la producción de combustibles líquidos deberá crecer a un ritmo de 26.6 billones de barriles por día, desde el 2008 hasta el 2035.

La cantidad de petróleo descubierto a nivel mundial en la década pasada bordea los 14 billones de barriles en promedio [26], mientras que la producción mundial de combustible fósil líquido estimada para el año 2035 excede con 26.6 millones de barriles por día a la del año 2008, cuyo aumento se refleja en ambos sectores, tanto OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) como no-OPEC. El primero se estima produzca 46.9 millones de barriles por día en el 2035, mientras que el segundo 65.3 millones de barriles por día, para el mismo año [5], como se aprecia en la Figura 7. Sin embargo, estas estimaciones pueden variar de manera drástica debido a las políticas de reducción de gases de efecto invernadero así como al incremento en los precios internacionales de petróleo.



**Figura 8.** Consumo de combustible líquido por sector a nivel mundial (millones de barriles por día)[27]

Por otro lado, los sectores de mayor consumo de combustible líquido a nivel mundial, son el de la transportación y el industrial, como se aprecia en la Figura 8, siendo el primero el más importante con un 54 % del total de combustibles líquidos en el 2008, y se estima que para el 2035 incremente a 60 %. Sin embargo, la única fuente de energía para la generación de electricidad que no crece a nivel mundial es el petróleo, básicamente debido al incremento de su precio (se estima llegue a los 120 USD/barril en el 2035), es así que a nivel mundial la generación eléctrica basada en este combustible decrece un promedio de 0.9 % al año, de 1.0 trillones de Kilowatts-hora en el 2008 a 0.8 trillones de Kilowatts-hora en el 2035, siendo reemplazado por combustibles más económicos y menos contaminantes como el gas natural y la energía nuclear.

Finalmente, se estima que las reservas mundiales de petróleo están entre los 1470 [27] y 1652.6 billones de barriles [28], siendo Venezuela el país con mayor crecimiento en el 2011, mientras que la mayor cantidad de las reservas probadas se encuentran en el Medio Oriente. Aproximadamente, el 79 % de las reservas probadas de petróleo se encuentran en poder de 8 países, de los cuales solo Canadá y Rusia no están dentro del grupo OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries). El país que mayor reservas posee es Arabia Saudita que cuenta con 260.1 billones de barriles, seguido de Venezuela con 211.2 billones de barriles y Canadá con 175.2 billones de barriles, lo que a nivel mundial representa el 17.68 %, 14.35 % y 11.91 %, respectivamente. Ecuador aparece con una reserva probada de 6.5 billones de barriles lo que representa el 0.44 % a nivel mundial.

## 2.4 Nuclear

Las plantas nucleares son plantas de generación termo-eléctrica, las mismas que permiten hervir el agua hasta convertirla en vapor, que luego es usado para producir movimiento mecánico rotacional sobre las turbinas de generación eléctrica, del mismo modo que lo hacen las plantas de carbón, petróleo, geotérmicas, entre otras. La principal diferencia es que las plantas nucleares, en lugar de usar combustible fósil para este propósito, usan Uranio como principal fuente de energía. El uranio consiste en pequeñas pastillas de cerámica duras que son empaquetadas en largos tubos verticales e insertados dentro del reactor [29].

Esta tecnología basa su principio en el aprovechamiento de la energía liberada gracias a un proceso físico llamado fisión nuclear, que consiste en la división de los núcleos de átomos de Uranio en otros más pequeños y además en otras partículas como, neutrones, fotones (generalmente rayos gamma), rayos alfa y beta, los mismos que provocan que otros átomos se dividan, obteniendo un fenómeno llamado *reacción en cadena*. Éstas partículas contienen grandes cantidades de energía calorífica y cinética que calientan la materia circundante.

Ésta se desarrolló en 1940 en la Segunda Guerra Mundial, donde se usó con fines militares en la construcción de bombas de destrucción masiva, sin embargo luego se buscaron formas de aplicarla para la generación de energía eléctrica.

La primera planta de energía nuclear inició su operación a principios del año 1950 [30] y actualmente es una de las principales fuentes para la generación de energía eléctrica, proveyendo alrededor del 14 % a nivel mundial y un 21 % en los países OECD [29]. Los primeros países en usar esta nueva fuente de energía para la generación de electricidad fue la Ex-Unión Soviética en 1954, el Reino Unido en 1956, los Estados Unidos 1957 y Francia en 1963. Posteriormente otros países, como Bélgica, Canada, Alemania, Italia, Japón y Suecia les siguieron sus pasos.

En total 13 países son capaces de generar al menos la cuarta parte de la producción mundial, con datos de Agosto 2012 y como se ilustra en la Tabla 1, a nivel mundial 435 reactores para la generación de electricidad están operando, siendo Estados Unidos el país con mayor número de reactores en operación, que en total suman 104 y una capacidad de generación de 101 465 MW, que para este país representa alrededor del 20 % de su capacidad total. Además, el segundo país con mayor capacidad de generación es Francia, el mismo que cuenta

**Tabla 1.** Capacidad de Generación Nuclear en Operación [29].

	No. de Reactores	Capacidad (MW)
Estados Unidos	104	101 465
Francia	58	63 130
Japón	50	44 215
Rusia	33	23 643
República de Corea	21	18 751
Ukrania	15	13 107
Canada	18	12 604
Alemania	9	12 068
China	16	11 816
Reino Unido	18	9 953
Suecia	10	9 326
España	8	7 567
Bélgica	7	5 927
Taipei	6	5 018
India	20	4 391
República Checa	6	3 766
Suiza	5	3 263
Finlandia	4	2 736
Bulgaria	2	1 906
Húngria	4	1 889
Brasil	2	1 884
Sudáfrica	2	1 830
República Eslovaca	4	1 816
México	2	1 300
Rumania	2	1 300
Argentina	2	935
Irán	1	915
Pakistan	3	725
Eslovenia	1	688
Holanda	1	482
Armenia	1	375
<b>Total</b>	<b>435</b>	<b>368.791</b>

con 58 reactores nucleares que entregan una potencia de 63 130 MW, que para este país representa el 74.8 % de su capacidad de generación total [30].

Por otro lado, 66 nuevas plantas están bajo construcción en 14 países, como se ilustra en la Tabla 2, siendo China el país que mayor inversión realiza en esta área, buscando

**Tabla 2.** Capacidad de Generación Nuclear en Operación [29].

	No. de Reactores	Capacidad (MW)
China	26	26 620
Rusia	10	8 188
República de Corea	5	5 560
India	7	4 824
Japón	2	2 650
Taipei	2	2 600
Ukrania	2	1 900
Francia	1	1 600
Finlandia	1	1 600
Brasil	1	1 245
Estados Unidos	1	1 165
República Eslovaca	2	782
Argentina	1	692
Pakistan	2	630
Total	63	60 056

casi triplicar su capacidad de generación de 11 816 MW a 26 620 MW, con la construcción de 26 nuevos reactores nucleares. En el 2010, las plantas nucleares proveyeron el 13.5 % de la energía eléctrica mundial.

Entre otras de las aplicaciones que normalmente se dá a la energía nuclear se encuentran productos de uso cotidiano, como por ejemplo, relojes, lámparas fluorescentes, vidrios, alimentos, cerámicas, entre otros, los mismos que contienen pequeñas cantidades de materiales radioactivos que sirven para mejorar sus cualidades físicas o químicas. En agricultura, la radiación producida por los rayos gamma es usada para eliminar cierto tipo de bacterias y hongos, que provocan enfermedades e intoxicaciones. Mientras tanto en la industria, la mayor parte de los procesos relacionados con calibración e inspección de materiales usa radiación para medir el espesor de partes, fallas en tuberías, fugas de líquidos, comportamiento de piezas en operación, entre otras. Por otro lado, en la medicina, el uso de pequeñas cantidades de radiación sobre el cuerpo humano es usado para realizar exámenes de diagnóstico de enfermedades, incluso en algunos tipos de cáncer la exposición del paciente a terapias de radiación es muy común en la actualidad. [31]

### 2.5 Renewable

Con el término *energía renovable* se conocen a todas aquellas fuentes que pueden ser usadas para producir

energía, cuyo ciclo y combustible es inagotable, las mismas que provocan una reducida contaminación y daño ambiental, entre las más comunes se encuentran, la solar, eólica, geotérmica, biocombustibles, biomasa y tidal [32].

Sin lugar a dudas, las energías renovables son una de las fuentes de generación de electricidad de mayor incremento en los últimos años, con una tasa de crecimiento promedio anual del 3.1 % y una producción, que en el 2008 era del 19 % y que en el 2035 se estima llegue al 23 %. La energía eólica muestra un salto significativo en su producción, pasando de 18 GW a finales del 2000 a 121 GW a finales del 2008 y con una tendencia creciente, estimando que en el 2035 represente el 27 % de toda la producción de energía renovable a nivel mundial [5]. Sin embargo, a pesar que este tipo de energía es amigable con el medio ambiente, aún no puede competir económicamente con los combustibles fósiles, debido a sus altos costos de implementación derivados de la tecnología de punta involucrada y su baja producción de energía promedio, siendo necesario que existan políticas gubernamentales que permitan subsidiar el costo real de generación a cambio de la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.

### 2.6 Hídrica

Este tipo de energía basa su principio de funcionamiento en el aprovechamiento de inmensas cantidades de agua, proveniente en la mayoría de los casos de ríos caudalosos, que son almacenadas de manera temporal en grandes reservorios llamados represas o diques, las mismas que se ubican en los lechos de los ríos aguas arriba. Esta agua almacenada es conducida por medio de tuneles o ductos aguas abajo, logrando formar una diferencia de altura bastante considerable que permite obtener energía potencial, la misma que será transformada en electricidad. El caudal que se vierte de manera directa sobre las paletas de las turbinas de generación, hace que éstas giren dando lugar al movimiento mecánico rotacional que se transforma en energía eléctrica al interior de los generadores eléctricos instalados para el efecto [33].

La primera planta de generación hidroeléctrica del mundo fue la construida a finales del Siglo XIX en las Cataratas del Niagara en la frontera entre Estados Unidos y Canada, por el padre de la energía eléctrica alterna el científico europeo Nicola Tesla [34] [35]. En la actualidad la energía hidroeléctrica es la fuente renovable de generación eléctrica más grande del mundo, donde China lidera su producción seguido de Brasil, Canada, Estados Unidos y Rusia. En la Tabla 3 se resumen a los países líderes a nivel mundial en el sector hidroeléctrico. Sin



embargo, entre el 2005 y el 2010, este tipo de generación se ubica en el segundo lugar después de la energía eólica, en cuanto a crecimiento [36] debido en gran medida a que una central de generación requiere mayor tiempo en ser construida que un parque eólico.

**Tabla 3.** Países líderes de generación de energía eléctrica [37].

País	Parte del Total en el 2012 (%)
China	23.4
Brasil	11.4
Canada	10.4
Estados Unidos	7.6
Rusia	4.5
Noruega	4.9
Japón	2.2
Venezuela	2.2
Suecia	2.1

Una de las grandes y principales ventajas que poseen las centrales hidroeléctricas es su velocidad y capacidad de respuesta ante fluctuaciones de carga, que permiten cubrir los picos de demanda de manera rápida y confiable, producto de sus grandes reservas de agua que son consumidas en instantes cortos de tiempo, actuando como una especie de colchón energético, a diferencia de la energía solar y eólica, las mismas que tienen un perfil de generación bastante impredecible e inestable debido principalmente a su naturaleza y a la carencia de dispositivos o métodos de almacenamiento seguros.

En el 2011, los países OECD contaron con una generación de energía hidroeléctrica de alrededor de 1,458 TWh o el 13.5 % de su producción total, mientras que los países no-OECD tuvieron 2,097 TWh o el 20 % de su producción total [38].

### 2.7 Eólica

El sol calienta las masas de aire en la superficie de la tierra de manera irregular, provocando diferencias de temperaturas que generan a su vez movimientos de grandes masas de aire. Este flujo ha sido aprovechado desde épocas milenarias como fuente de energía mecánica rotacional en molinos y actualmente es una de las mayores fuentes de generación eléctrica renovable después de las hidroeléctricas. Utilizando principios aerodinámicos los molinos de viento, capturan la energía cinética del viento para mover sus aspas generando

movimiento mecánico rotacional que luego es transformado en energía eléctrica en el interior de las turbinas. Comercialmente existen varios modelos de ellas, pero las más comunes son las de tres aspas con eje horizontal equipados con una caja de engranes para multiplicar la velocidad del rotor del generador y alcanzar una frecuencia de generación cercana a los 50/60 Hz.

Los tamaños típicos de estas turbinas van desde los 200KW hasta los 750KW, con determinados rangos de velocidad de viento para su generación en cada caso. El rápido desarrollo de esta tecnología ha permitido reducir los costos de instalación, de \$2.2/W en 1980 a \$1/W en la actualidad, del mismo modo los costos de energía se han visto reducidos de \$0.40/KWh a menos de \$0.04-\$0.06/KWh en áreas con buenas condiciones de viento [40]. A nivel mundial en el año 2000, más de 3900MW adicionales de energía eólica fueron instalados, con ventas mayores a \$ 3.9 billones y una tasa de crecimiento del 35 % anual, tendencia que ha ido en claro incremento exponencial hasta la fecha en los Estados Unidos, como se aprecia en la Figura 9.

En el año 2012 se añadieron 44.8 GW de potencia eólica, registrando un record histórico y completando un total de 282.5 GW a nivel mundial. Actualmente, son 100 países quienes logran cubrir un 3 % de la demanda global, estando el 85 % de la generación en manos de 21 de ellos [41], siendo China el país que a finales del 2010, alcanzó una capacidad instalada de energía eólica de 44.73 GW; el 64 % de ésta energía proviene de 127 plantas que superan los 100MW de capacidad, cubriendo sólo el 1.28 % del consumo total, superando así a los Estados Unidos y convirtiéndose en el líder a nivel mundial [42]. En la Tabla 5 se listan los países que acumulan la mayor cantidad de potencia eólica instalada a nivel mundial.

Alrededor del mundo, grandes esfuerzos por reducir la emisión de gases de efecto invernadero se están realizando en el área eólica, es así que en el año anterior, en seis países se sumaron más de 1GW de potencia a la red, como se aprecia en la Tabla 4, mientras que países como Canadá, Suiza y México sumaron cada uno 600 MW de nueva potencia proveniente del aire, siendo éste último el que mayor crecimiento muestra en este campo, con un incremento de 113 %.

Las expectativas de crecimiento son bastante ambiciosas, como por ejemplo, la Unión Europea prevee contar con un 20 % de energía eólica para el año 2020, al igual que Australia; mientras que China espera instalar 100 GW para el 2015. Por su parte, la República de Corea busca reemplazar un 11 % de su consumo con energía eólica. Mientras tanto en Latinoamérica, México lidera el sector

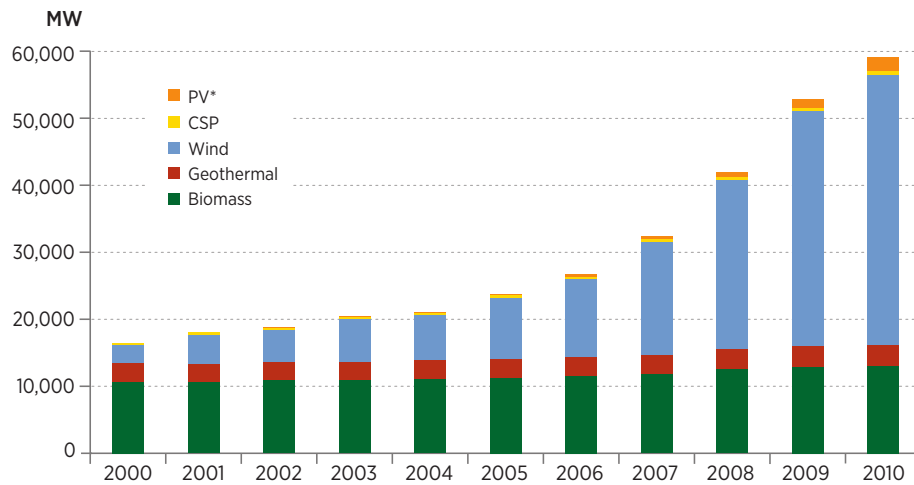


Figura 9. Capacidad de Generación Eléctrica Renovable de Estados Unidos [39].

Tabla 4. Incremento de Potencia Eólica [41].

País	Capacidad (GW)	Incremento (%)
Estados Unidos	13.13	28
China	12.96	21
Alemania	2.44	8
Inglaterra	1.82	28
Italia	1.27	18
España	1.11	5

eólico con un crecimiento estimado para el año 2020 de un 5 % del total, que representa 12GW.

## 2.8 Solar

La energía solar es sin duda, una de las formas de energía renovable más abundante sobre el planeta y es la causante de provocar muchas otras, como la eólica debido al calentamiento de las masas de aire. Se estima que la energía proveniente del sol está entre  $1.5 \times 10^{11}$  y  $1.8 \times 10^{11}$  MW, de los cuales la mitad alcanzan a ingresar a la superficie de la tierra y la otra mitad es reflejada por la atmósfera [40] [43]. Se calcula que logrando captar el 0.1 % de ésta energía y convirtiéndola en electricidad con un rendimiento del 10 %, se podría cubrir cuatro veces la demanda mundial de energía eléctrica; Incluso en 90 minutos, el sol es capaz de proveer toda la energía que el planeta requiere para un año [44]; por tal razón la energía solar es en magnitud, la fuente de energía con mayor futuro del planeta y la que mayor sustentabilidad puede

ofrecer [45].

Existen dos clases principales de energía solar: Fotovoltaica y termosolar.

### 2.8.1 Fotovoltaica

Su funcionamiento se basa en que la luz solar esta compuesta por pequeñas partículas de energía llamadas fotones, los mismos que son absorbidos por los paneles solares. Los fotones excitan a los electrones que se encuentran en las celdas fotovoltaicas haciendo que estos empiecen a moverse y formen pequeños flujos de corriente.

Las celdas se colocan en arreglos para formar paneles solares de diferentes tamaños y por ende potencia eléctrica que luego es utilizada como una forma de energía. Estos paneles utilizan material semiconductor tales como el silicio para convertir la energía solar en energía eléctrica, los cuales no tienen partes móviles, no generan ruido, ni contaminación de ninguna clase, tienen un tiempo de vida útil de aproximadamente 20 años y requieren poco mantenimiento. Los costos relacionados a estos elementos han disminuido de \$50/W a inicios de 1980 a \$5/W hoy en día; del mismo modo el costo de la energía ha disminuido de \$0.90/KWh en 1980 a \$0.20/KWh en la actualidad. A pesar de su aún alto costo, en algunos países ésta tecnología es ampliamente usada para alimentar de energía a lugares remotos, equipos de telecomunicaciones, vehículos, entre otros [40].

En el período del 2000 al 2011, esta forma de energía

**Tabla 5.** Capacidad de Generación Eléctrica Eólica Instalada 2012 [41].

País	Capacidad (MW)
China	75 324
Estados Unidos	60 007
Alemania	31 315
España	22 785
India	18 421
Inglaterra	8 292
Italia	8 144
Francia	7 564
Canadá	6 201
Dinamarca	4 162
Suiza	3524
Japón	2 614
Australia	2 584
Brasil	2 508
Polonia	2 497
Holanda	2 431
Turquía	2 312
Rumania	1 905
Irlanda	1 827
Grecia	1 749
Austria	1 378
México	1 212

fue una de las de mayor crecimiento a nivel mundial, alcanzando a finales del 2011 una capacidad instalada de 65 GW, siendo Alemania e Italia los países que poseen la mitad de la capacidad mundial, seguidos por Japón, España, Estados Unidos y China [46].

### 2.8.2 Termo-Solar

Una nueva forma de producir energía derivada de la solar son los parques de generación termo-solar, que consisten en amplios campos dotados de paneles de alta reflectividad los cuales proyectan la energía capturada a una torre en la cual calientan un núcleo de sales fundidas a temperaturas del orden de los 900 °C y por medio de sistemas de transferencia de calor generan vapor el cual a su

vez es usado para generación de energía eléctrica.

### 3. CONCLUSIONES

En este documento se presenta una descripción general de las diferentes fuentes de generación de energía eléctrica, donde se aprecia que los combustibles fósiles en la mayoría de los países son la principal fuente para la generación de electricidad y según diferentes proyecciones realizadas por organismos internacionales y empresas privadas, en los próximos años se mantendrá su uso aunque con una ligera tendencia a la baja, por lo que se puede prever que el ritmo de contaminación ambiental no disminuirá en un futuro inmediato.

Por otro lado, se puede apreciar un claro esfuerzo internacional por apaliar en algo la cruda realidad del medio ambiente, por medio del uso de combustibles provenientes de fuentes renovables de energía, donde la eólica es la que mayor crecimiento a nivel mundial a tenido, seguido de la solar y la hidroeléctrica. Sin embargo, los números no son muy alentadores a nivel global, ya que menos del 10% de la energía que necesita el planeta es suministrada por estas fuentes.

Muchos de los países analizados apuestan al uso de energías nucleares como principal fuente de generación de electricidad a pesar de los consecuentes riesgos que esto representa. Uno de éstos países es Francia cuyo porcentaje de generación está entre los más altos del mundo. Debido a los altos costos del petróleo y el carbón y a su inevitable agotamiento a mediano plazo, la energía nuclear bien utilizada podría convertirse en la principal fuente de generación, incluso por encima de las renovables que no tienen un terreno afianzado todavía.

Las energías renovables aún no logran superar a las fósiles y nucleares, principalmente por su alto costo de instalación y mantenimiento, a pesar de ello son las que mayor crecimiento están teniendo en los últimos años. Además, se espera que en el corto y mediano plazo puedan ser capaces de cubrir las necesidades básicas de consumo.

Finalmente, en el Ecuador el impulso a las fuentes de energía renovable en los últimos años ha sido muy importante, tanto así que se estima que para el año 2017 el 100% de la demanda de energía eléctrica será cubierta con este tipo de fuentes de generación, siendo las hidroeléctricas las que encabezaran dicho cambio. No obstante, en comparación a otros países su producción es aún incipiente y en algunos casos nula, como el uso de fuentes nucleares o geotérmicas. Es así, que se hace necesario un estudio completo y detallado de la matriz energética del

país, el mismo que será abordado en un próximo artículo de investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] H. Farhangi, "The path of the smart grid," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 8, no. 1, pp. 18–28, 2010.
- [2] Smarth Texas Rethinking Energy. (2012, February 2012) Pathway to power. [Online]. Available: [http://www.txelectricdelivery.com/tech\\_reliable/pathwaytopower.aspx](http://www.txelectricdelivery.com/tech_reliable/pathwaytopower.aspx)
- [3] U.S. Energy Information Administration. (2011, March 20 2012) Annual Energy Review 2010. [Online]. Available: <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/aer.pdf>
- [4] Energy Information Administration. (2010, March 20 2012) Country Analysis Briefs, China. [Online]. Available: <http://www.eia.gov/EMEU/cabs/China/pdf.pdf>
- [5] EIA. (2011, February 27 2012) International Energy Outlook 2011. [Online]. Available: [http://www.eia.gov/FTPROOT/forecasting/0484\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/FTPROOT/forecasting/0484(2011).pdf)
- [6] H. Rudnick, L. Barroso, D. Llaens, D. Watts, and R. Ferreira, "Flexible connections: Solutions and challenges for the integration of renewables in south america," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 10, no. 2, pp. 24–36, 2012.
- [7] S. Patel. (2013, October 2013) China's second and third-largest mega-dams mark operational milestones. [Online]. Available: <http://goo.gl/u4nKhw>
- [8] Maria van der Hoeven, "World Energy Outlook 2012," International Energy Agency, France, Tech. Rep., Jan. 2012.
- [9] European-Commission. (2006, March 21 2012) Vision and strategy for europe's electricity networks of the future.
- [10] U.S. Department of Energy. (2011, March 23 2012) A Brief History of Coal Use. [Online]. Available: [http://fossil.energy.gov/education/energylessons/coal/coal\\_history.html](http://fossil.energy.gov/education/energylessons/coal/coal_history.html)
- [11] O. C. Kopp, "Coal," *Britanica Encyclopedia Online Academic Version*, March, 2012 2012. [Online]. Available: <http://0-www.britannica.com/millennium.itesm.mx/EBchecked/topic/122863/coal>
- [12] U.S. Energy Information Administration. (2011, March 23 2012) Annual energy review 2010. [Online]. Available: [http://www.eia.gov/kids/energy.cfm?page=tl\\_coal](http://www.eia.gov/kids/energy.cfm?page=tl_coal)
- [13] National Energy Technology Laboratory. (2010, March 23 2012) History of U.S. Coal Use. [Online]. Available: <http://www.netl.doe.gov/keyissues/historyofcoaluse.html>
- [14] World Coal Association. (2012, April 02 2012) Coal, Uses of Coal. [Online]. Available: <http://www.worldcoal.org/coal/uses-of-coal/>
- [15] Global Energy Statistical Yearbook 2011. (2010, April 02 2012) Coal and Lignite Production. [Online]. Available: <http://yearbook.enerdata.net/2010-energy-consumption-data.html#/coal-and-lignite-production-in-2010.html>
- [16] U.S. Energy Information Administration. (2011, March 23 2012) Country Analysis Briefs, India. [Online]. Available: <http://www.eia.gov/EMEU/cabs/India/pdf.pdf>
- [17] U.S. Energy Information Administration. (2010, March 23 2012) Country Analysis Briefs, Russia. [Online]. Available: <http://www.eia.gov/EMEU/cabs/Russia/pdf.pdf>
- [18] G. I. Atwater and J. P. J. Riva. (2012, March 29 2012) Natural Gas. [Online]. Available: <http://0-www.britannica.com/millennium.itesm.mx/EBchecked/topic/406163/natural-gas>
- [19] U.S. Department of Energy. (2012, April 08 2012) The history of Natural Gas. [Online]. Available: [http://fossil.energy.gov/education/energylessons/gas/gas\\_history.html](http://fossil.energy.gov/education/energylessons/gas/gas_history.html)
- [20] Natural Gas Org. (2012, April 08 2012) History. [Online]. Available: <http://www.naturalgas.org/overview/history.asp>
- [21] L. Borgard, D. McCurdy, "2012 Policy HandBook," American Gas Association, USA, Tech. Rep., Jan. 2013.
- [22] G. I. Atwater and J. P. J. Riva. (2012, March 29 2012) Petroleum. [Online]. Available: <http://0-www.britannica.com/millennium.itesm.mx/EBchecked/topic/454269/petroleum>
- [23] F. Habashi, "The first oil well in the world," Quebec, Canada, 2000. [Online]. Available: [http://www.scs.illinois.edu/~mainzv/HIST/bulletin\\_open\\_access/v25-1/v25-1%20p64-66.pdf](http://www.scs.illinois.edu/~mainzv/HIST/bulletin_open_access/v25-1/v25-1%20p64-66.pdf)
- [24] R. McHenry, "The first oil well (150th anniversary of the birth of the oil industry)," August 26 2009. [Online]. Available: <http://www.britannica.com/blogs/2009/08/the-first-oil-well/>

- [25] U. Davé, "Edwin drake and the oil well drill pipe)," Summer 2008. [Online]. Available: <http://www.pabook.libraries.psu.edu/palitmap/DrakeOilWell.html>
- [26] Energy Information Administration. (2011, November) World Energy Outlook 2011. [Online]. Available: [http://biblioteca.mty.itesm.mx/mty/bds/salta\\_bd.php?col\\_id=oeed](http://biblioteca.mty.itesm.mx/mty/bds/salta_bd.php?col_id=oeed)
- [27] Oil & Gas Journal, "Oil & gas reserves news," August 2012. [Online]. Available: <http://www.ogj.com/oil-exploration-and-development/reserves.html>
- [28] British Petroleum, "Statistical of world energy 2012," June 2012. [Online]. Available: <http://www.bp.com/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>
- [29] Luis E. Echavarrí, "Nuclear Energy Today 2012," International Energy Agency, France, Tech. Rep., Jan. 2012. [Online]. Available: <http://www.oecd-nea.org/pub/nuclearenergytoday/6885-nuclear-energy-today.pdf>
- [30] Nuclear Energy Institute, "Nuclear energy around de world," 2012, visited on 04/04/2012,. [Online]. Available: [http://www.nei.org/resourcesandstats/nuclear\\_statistics/worldstatistics/](http://www.nei.org/resourcesandstats/nuclear_statistics/worldstatistics/)
- [31] HPS. (2010, February) Consumer Products Containing Radioactive Materials. USA. [Online]. Available: <http://www.hps.org/documents/consumerproducts.pdf>
- [32] N. Panwar, S. Kaushik, and S. Kothari, "Role of renewable energy sources in environmental protection: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 3, pp. 1513 – 1524, 2011. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110004065>
- [33] Britanica Encyclopedia Online. (2013, October 05 2013) Hydroelectric Power. [Online]. Available: <http://0-www.britannica.com.millennium.itesm.mx/EBchecked/topic/278455/hydroelectric-power>
- [34] S. Markovic, T. Lazovic, L. Milovic, and B. Stojiljkovic, "The first hydroelectric power plant in the balkans built on the basis of tesla principles," in *Explorations in the History of Machines and Mechanisms*, ser. History of Mechanism and Machine Science, T. Koetsier and M. Ceccarelli, Eds. Springer Netherlands, 2012, vol. 15, pp. 395–406. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4132-4\\_27](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-4132-4_27)
- [35] J. Cunningham, "Architect of power: Thomas e. murray amp; new york's electrical system [history]," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 10, no. 2, pp. 80–94, 2012.
- [36] International Energy Agency. (2013, October 2013) Hydropower. [Online]. Available: <http://www.iea.org/topics/hydropower/>
- [37] British Petroleum, "Bp statistical review of world energy june 2013," June 2013. [Online]. Available: [http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical\\_review\\_of\\_world\\_energy\\_2013.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf)
- [38] IEA, "Electricity Information," International Energy Agency, USA, Tech. Rep., February 2012.
- [39] U.S. Department of Energy. (2010, March 23 2012) 2010 Renewable Energy Data Book. [Online]. Available: [www.nrel.gov/analysis/pdfs/51680.pdf](http://www.nrel.gov/analysis/pdfs/51680.pdf)
- [40] S. Bull, "Renewable energy today and tomorrow," *Proceedings of the IEEE*, vol. 89, no. 8, pp. 1216 –1226, aug 2001.
- [41] Hannele Holttinen and Jim Ahlgrimm, "Iea wind 2012 annual report," Tech. Rep., September 2013 2012. [Online]. Available: [http://www.ieawind.org/annual\\_reports\\_PDF/2012/2012%20IEA%20Wind%20AR\\_smallPDF.pdf](http://www.ieawind.org/annual_reports_PDF/2012/2012%20IEA%20Wind%20AR_smallPDF.pdf)
- [42] L. Jiang, Y. Chi, H. Qin, Z. Pei, Q. Li, M. Liu, J. Bai, W. Wang, S. Feng, W. Kong, and Q. Wang, "Wind energy in china," *Power and Energy Magazine, IEEE*, vol. 9, no. 6, pp. 36–46, 2011.
- [43] B. Parida, S. Iniyán, and R. Goic, "A review of solar photovoltaic technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 3, pp. 1625 – 1636, 2011. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110004016>
- [44] IEA, "Solar Energy Perspectives," International Energy Agency, France, Tech. Rep., September 2011.
- [45] M. Thirugnanasambandam, S. Iniyán, and R. Goic, "A review of solar thermal technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 1, pp. 312 – 322, 2010. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001750>
- [46] International Energy Agency. (2013, September 2013) Solar (pv and csp). [Online]. Available: <http://www.iea.org/topics/solarpvandcsp/>