



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y
EMPRESARIALES

LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA: LA
IMPORTANCIA FUTURA DE LAS
ENERGÍAS LIMPIAS

Autor: Javier González Barrios

Madrid
Diciembre de 2019

RESUMEN

El propósito del presente trabajo será analizar cada una de las variables que condicionan el mercado energético actual, poniendo énfasis en aquellas no contaminantes y renovables, para averiguar qué papel jugará en el mercado energético futuro. Intentaremos encontrar cuales son los principales problemas que presentan las energías renovables para poder abastecer de manera independiente la demanda global en el panorama actual y cuáles son las predicciones para la solución de los mismos.

PALABRAS CLAVE:

Energías renovables, energía nuclear, contaminación, potencia instalada, energía generada y baterías.

ABSTRACT:

The purpose of this paper will be to analyse each of the variables that condition the current energy market, with an emphasis on those that are non-polluting and renewable, in order to find out what role it will play in the future energy market. We will see which are the main problems that the renewable energies present in order to independently supply the global demand and which are the predictions for the solution of them.

KEYWORDS:

Renewable energies, nuclear energy, pollution, installed power, generated energy and batteries.

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN:	3
1.1 Justificación del interés de la cuestión	3
1.2 Metodología y estructura del trabajo	3
1.3 Objetivos del trabajo	4
2. CONFIGURACIÓN DEL MERCADO ACTUAL	6
2.1 El petróleo	6
<i>2.1.1. Variaciones en el consumo del petróleo: por qué varía su consumo</i>	<i>6</i>
<i>2.1.2 Escasez de este recurso</i>	<i>8</i>
2.2 La energía nuclear:	9
3. EL CAMBIO CLIMÁTICO	14
4. ENERGÍAS RENOVABLES:	15
4.1 Energía hidráulica o hidroeléctrica:	16
4.2 Energía eólica	21
4.3 Energía solar	25
4.4 Energía geotérmica, mareomotriz y biomasa.	30
<i>4.4.1 Energía geotérmica:</i>	<i>30</i>
<i>4.4.2 Energía mareomotriz y undimotriz</i>	<i>33</i>
<i>4.4.3 Biomasa, biocombustibles y biogás:</i>	<i>34</i>
5. LOS PRINCIPALES ESCOLLOS A LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA	36
5.1 La batería de litio	42
6. CONCLUSIONES	45
7. BIBLIOGRAFÍA:	47

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: World Energy Outlook. 2019	9
Figura 2: Projects. ICIWaRM	19
Figura 3: Photovoltaic Power Potential. The World Bank.....	30
Figura 4: Tectónica de placas. Servicio Geológico Mexicano.....	31
Figura 5: La geotermia en el mundo. IGME.....	32
Figura 6: La geotermia en el mundo. IGME.....	33
Figura 7: Renewables 2018: Global Status Report. REN21.....	37
Figura 8: Estrés hídrico y escasez de agua. ONU- DAES.....	39
Figura 9: Tectónica de placas. Servicio Geológico Mexicano.....	39

1. INTRODUCCIÓN:

1.1 Justificación del interés de la cuestión

Hace más de 100 años se produjo la primera revolución energética con el descubrimiento del petróleo y su uso en el motor de combustión. Esto llevó a que, en el último siglo, la humanidad haya avanzado más que en toda su historia y al mismo tiempo que hayamos destruido el planeta como nunca antes podríamos haber imaginado. En este contexto es en el que nos encontramos ahora, una posición de avance envidiable y una situación de destrucción a escala planetaria casi irreversible. ¿Qué hacemos entonces? La situación demanda una solución: dejar de utilizar combustibles contaminantes; pero, el proceso para lograrlo no es ni por asomo sencillo, no podemos dejar de utilizar de manera absoluta los combustibles fósiles, puesto que, aunque se repararía el ecosistema, llevaría nuestra sociedad al colapso ya que por muy negativo que parezca, el petróleo es probablemente uno de los pilares sobre los que se sustenta nuestra sociedad actual. Por tanto, vemos que la solución pasa por intentar encontrar alternativas limpias al mismo que permitan reducir su uso de manera progresiva.

Este trabajo tiene sentido y más aún en el contexto de cambio actual, en el que llevamos años viendo como poco a poco las energías renovables van ganando terreno a las fósiles, intentando reducir el impacto negativo que estas tienen sobre el medio. Por tanto, la cuestión que planteamos es relevante por varios motivos. Por un lado, la última revolución energética que conoció la humanidad nos llevó a una de las etapas de mayor bienestar social y avance de la historia, por lo que no debemos despreciar en este sentido, la importancia que una segunda revolución energética pueda llegar a tener. Por otro lado, esta cuestión es importante porque afecta a todas y cada una de las personas y especies que habitan en este planeta, el éxito de las renovables puede marcar la diferencia entre la vida y la muerte. Por último, y desde un punto de vista más económico, debemos darnos cuenta de que se va a producir un cambio transversal en uno de los sectores más prolíficos y monopolizado por grandes empresas, el sector energético. Por tanto, debemos tener en cuenta las consecuencias que pueda llegar a tener la reforma de un sector tan grande como éste. Pensar que afecta desde la industria del petróleo, como del transporte o la automovilística. Por ello es innegable y evidente que durante los próximos años veremos profundos cambios en estos sectores y en las tecnologías que emplean.

1.2 Metodología y estructura del trabajo

Para lograr los objetivos del presente trabajo realizaremos una investigación recurriendo fundamentalmente a técnicas cuantitativas, pero apoyándonos también por su utilidad en técnicas cualitativas

Recurriremos a fuentes primarias y secundarias, empleando artículos de revistas especializadas, periódicos ordinarios nacionales o extranjeros, informes de instituciones fundamentalmente públicas (aunque también privados), libros que versan sobre la materia. Probablemente nuestra fuente de información más importantes son aquellas cifras numéricas que nos aportan un argumento objetivo para sostener las diferentes afirmaciones que en este trabajo se hacen. En este sentido hemos intentado justificar mediante datos obtenidos de fuentes fiables todos y cada uno de los argumentos que exponemos; de ahí que la bibliografía sea tan extensa.

En este sentido, debemos diferenciar dos tipos de información que analizaremos en nuestro trabajo. Al pasar por todas y cada una de las energías renovables debemos distinguir por un lado las fuentes que nos aportan información técnica sobre dicha materia y que nos ayuda a comprender su funcionamiento y; por otro lado, debemos distinguir aquellos datos sobre su estado en el mercado actual (uso, capacidad productiva e instalada, predicciones futuras...) que nos ayudarán a formarnos una idea de la importancia relativa de estas tecnologías en el futuro.

1.3 Objetivos del trabajo

El primer objetivo del presente trabajo será localizar, analizar y exponer cada una de las variables de las que dependen el mercado energético actual y la transición energética futura. Con esto intentaremos sopesar su importancia relativa a la hora de realizar predicciones efectivas.

Otro objetivo fundamental será averiguar, a partir de la información que disponemos en la actualidad, cuál será la configuración del mercado energético futuro. Es decir, mediante nuestro estudio, pretendemos dilucidar si este cambio de fósiles a renovables se producirá de manera efectiva y en que progresión se dará; además queremos ver, una vez sepamos si se va a dar o no, qué energía renovable será determinante para que zona del planeta (ya que, pensemos que la energía hidráulica solo se podrá aprovechar donde halla agua). Para ello deberemos estudiar el estado de avance de cada una de las fuentes de energía presentes en nuestro sistema, así como las predicciones realistas sobre las mismas. Apoyaremos nuestras conclusiones únicamente con datos objetivos.

Veremos también cuales son los impedimentos que presentamos en la actualidad para realizar un cambio total a las renovables y estudiaremos qué fuentes de energía no

renovables (sin contar el petróleo) podrían llegar a ser determinantes por su escasa o nula emisión de partículas contaminantes a la atmósfera y su alta productividad.

2. CONFIGURACIÓN DEL MERCADO ACTUAL

Como hemos visto nuestro estudio va a intentar cuantificar cual será la importancia de las energías renovables en el futuro. Intentaremos analizarlo a través de una investigación cuantitativa que nos permita alcanzar la mayor objetividad en los datos obtenidos. Debido a la gran amplitud del tema a tratar, recurriremos fundamentalmente a datos obtenidos de organismos internacionales puesto que creemos que son los que más fiabilidad aportan. Para ello analizaremos las variables que consideramos, tendrán incidencia en el desarrollo de la transición energética:

2.1 El petróleo

La primera variable que debemos estudiar para averiguar si efectivamente se producirá esta transición energética y en que velocidad es, el petróleo. De esta manera, podemos observar cómo existe una relación inversamente proporcional entre el consumo de energía renovable y el consumo de energías fósiles (aunque esta relación no es en la misma proporción puesto que las energías renovables aún no son suficientes para cubrir la demanda) como podemos ver en los datos de consumo históricos de estas energías aportado por la Agencia Internacional de Energías renovables (2019). De esta manera, debemos averiguar con respecto a esta variable:

2.1.1. Variaciones en el consumo del petróleo: por qué varía su consumo

Para entender cuál será el futuro del petróleo en nuestra economía debemos de entender que factores afectan a su consumo, puesto que uno de ellos podría explicar la mayor o menor incidencia de este en los años posteriores. Podemos encontrar 7 factores que inciden en el consumo del petróleo (Bloomberg, 2018), intentaremos pasar lo más rápido por cada uno de ellos:

En primer lugar, debemos hablar de la OPEC como una variable en sí misma debido al poder de incidencia que tienen en los precios del petróleo en el mercado global. Aunque no vamos a entrar a definir dicha institución por ser conocida ampliamente, sí que debemos de decir que su creación se realizó con el objetivo de garantizar un buen precio (un precio estable) a los países miembros de ésta como consecuencia de las fuertes variaciones en los precios que éste estaba sufriendo en el pasado. De esta manera, por ejemplo, en 2018 se acordó limitar la producción de crudo en 39 millones de barriles de crudo al día (OPEP, 2018). En la actualidad, aunque sigue siendo una variable con gran

importancia, hay que decir que su importancia relativa en el mercado global está cayendo¹.

En segundo lugar, debemos hablar del resto de países que no son la OPEC puesto que en la actualidad también tienen una gran importancia. Sin entrar a explicarlos demasiado, debemos de valorar que, en la actualidad, el resto de los países produce alrededor de 53 millones de barriles de crudo al día (BP, 2018).

En tercer lugar, se hace referencia a todas aquellas variables exógenas que podrían tener influencia en los precios del mismo. Nos referimos con ellos a aspectos que la economía no puede controlar, como pueden ser desastres naturales, guerras o la inestabilidad política.

En cuarto lugar, debemos hablar de los acontecimientos económicos a nivel global. Un ejemplo es el crack del 2008, como vemos en las estadísticas del consumo global de petróleo que nos aportan agencias como IRENA (2019) o BP (2018), prácticamente el consumo global del petróleo proviene de EEUU, Europa y China; las mismas regiones donde más afectan las desavenencias económicas. Por tanto, una nueva crisis global llevaría a la caída generalizada del consumo del petróleo.

En quinto lugar, la dependencia de la fortaleza del dólar estadounidense. Ocurre en gran parte de los mercados globales. Es simplemente una consecuencia de lo acontecido en 1944 (Breton Woods) tras el cambio del patrón oro al sistema actual fiduciario.

En sexto lugar, debemos hacer referencia al mercado bursátil ya que, como sabemos, al fin y al cabo, los precios del petróleo se establecen en éste. Esto quiere decir que la especulación sobre los acontecimientos futuros tiene mucho que ver con la fijación del precio del petróleo (IG, 2019). Por ejemplo, si China decidiese invertir en la construcción de centrales hidroeléctricas, la demanda global de petróleo se podría ver afectada considerablemente.

Por último, hemos querido dejar para el final la siguiente variable: las energías renovables. Seguro que, si leemos un informe de Bloomberg o IG de hace unos años, ésta ni siquiera aparecería como uno de los factores que podrían incidir en el consumo y precio del petróleo. Sin embargo, hoy nadie duda este hecho. No nos vamos a parar en esta

¹ Uno de los motivos por los que se está dando esto es debido al superávit que estamos encontrando en el mercado del petróleo como consecuencia de la expansión de la industria del fracking estadounidense (IG, 2018).

variable puesto que es uno de los puntos principales de este trabajo. Aun así, debemos decir que el consumo global de energía primaria lleva varios años compartiéndose con las energías renovables siendo cada vez más importante su importancia relativa global (IRENA, 2019) y es que es un hecho que, cuanto más desarrollemos esta fuente de energía, menor va a ser el consumo y producción del petróleo. Si nos fijamos es la única variable que pretende o demanda reducir el consumo del petróleo como base para lograr un fin, el resto de las variables solo se relacionan con él afectando a su consumo o a su producción

2.1.2 Escasez de este recurso

Sin entrar en las polémicas que esta cuestión ha suscitado en el pasado. Para realizar la valoración de nuestro estudio de la manera más objetiva posible, vamos a atender únicamente en este punto, a las últimas estadísticas, estudios y datos de mayor fiabilidad que podamos encontrar. Hacemos esto puesto que no tiene sentido atender a noticias de 2017 donde se dice que para 2030 nos quedaremos sin petróleo si, entre 2017 y 2019 se han encontrado varios yacimientos petrolíferos que amplían el período de consumo del petróleo. Por tanto, debemos atender siempre a los últimos datos y valorar la información que estos aportan.

Actualmente si atendemos a los estudios de los dos últimos años (BP, AIE, Energy Strategie for Europe, Banco Mundial...) vemos que se intenta evitar referencias a cuando nos vamos a quedar sin petróleo. Probablemente porque esto llevó en el pasado a emplear políticas abusivas por parte de los productores y a incrementar la desinformación En general entre la población. Así, si atendemos a datos aportados por una de las instituciones más conservadoras existentes, la Agencia Internacional de la Energía (2018), la demanda de petróleo a nivel global seguirá la siguiente distribución en los próximos años:

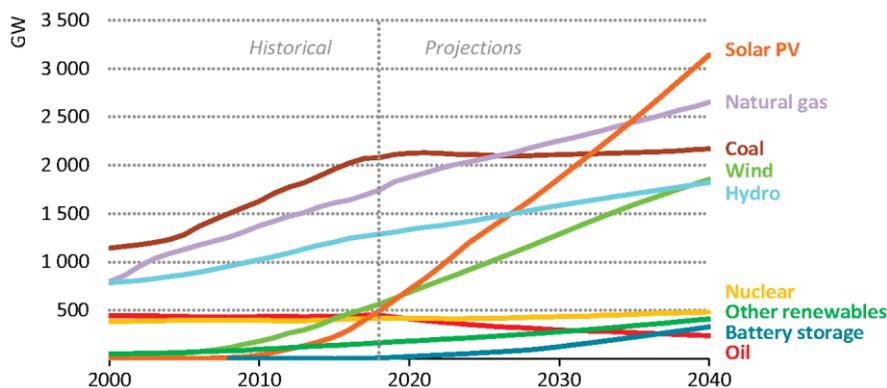


Figura 1: World Energy Outlook. 2019

Estos datos son corroborados por Bloomberg (2019) que afirman que como consecuencia del progresivo incremento de la incidencia de las energías renovables el crecimiento de la demanda de petróleo se verá poco a poco realentizada hasta quedarse estancada alrededor de 2030.

Esto no significa que la demanda de petróleo vaya a caer bruscamente, de hecho la AIE (2019) estima que la tasa de crecimiento de la demanda de petróleo seguirá en un 1% anual hasta 2025, por lo que el incremento en la producción del mismo también se mantendrá. Vemos por tanto, que la reducción en la proporción global de petróleo en el mercado futuro, nada tiene que ver con reducir el consumo de petróleo en la actualidad. De hecho los resultados de este estudio hacen pensar que su incremento es inevitable por mucho que se desarrollen energías renovables. Esto nos deja entrever un factor muy clave para nuestro futuro, la demanda de petróleo crece mas rápido que los avances en renovables, lo que hace que no solo sigamos dependiendo en el corto plazo del petróleo, sino que además probablemente no podamos reducir ni tan siquiera los niveles de contaminación. El mercado y la sostenibilidad reclaman mayores avances en renovables.

2.2 La energía nuclear:

Aunque puede que no sea lo más esperado hablar acerca de la energía nuclear en un trabajo sobre la transición energética, lo cierto es que gran parte del debate actual sobre el futuro energético se sitúa concretamente en esta fuente de energía (Villarino, 2014). Es un debate extremadamente complejo con posturas enfrentadas y cuyas posiciones en ocasiones no responden a criterios absolutamente objetivables.

Todas las fuentes de energía producen emisiones de CO₂ en algún momento de su ciclo de vida, incluidas las energías renovables, y en este sentido la energía nuclear no es un caso aparte. Hace unos años tras el accidente de Fukushima, todos los países abogaban por un plan de desnuclearización en aras de una mayor seguridad (Nuclear Energy Agency [NEA], 2013) y siguiendo los planes de sostenibilidad que, en la mayor parte de países, pasaban por reducir las energías no renovables (como la nuclear) por las energías renovables (Fresco, 2018). Sin embargo, países como Alemania, gran dependiente del carbón para la producción interna de electricidad, no ha conseguido reducir sus emisiones aún a pesar de reducir considerablemente la producción de energía nuclear (Carbajosa, 2018) mientras que, Francia durante la proclamada revolución nuclear del pasado siglo, consiguió reducir en los años ochenta casi sin querer, sus emisiones drásticamente

(Nuclear Energy Agency [NEA], 2018), siendo actualmente una de las economías europeas con menor emisión de gases, presentado a mes de Marzo de 2019, las emisiones más bajas de la UE por detrás de Dinamarca (Tomorrow, 2019) estando su economía fundamentalmente basada en la energía nuclear.

¿Qué quiere decir esto? La energía nuclear es probablemente la energía con mayor capacidad devastadora y, aun así, es para muchos expertos la única fuente de energía que nos podría permitir dejar de depender de las energías fósiles. Podríamos decir que a la energía nuclear le conviene el Calentamiento Global, pero lo cierto y más seguro es que sea al revés.

Conviene hacer referencia a la útil herramienta que encontramos en internet para consultar el estado de la demanda en tiempo real tanto para la producción como para el consumo de energía en diferentes países, el Electricity Map (hacíamos referencia a él en la última cita). Este ejemplifica cual es el modelo de consumo eléctrico, se produce energía en cada momento en función de la demanda (Naukas, 2017). No se almacena la energía eólica cuando hay más viento para después aprovecharla, o al menos no en la medida necesaria. Es decir, en la actualidad no es posible almacenar energía eléctrica de manera eficiente, como ejemplo la red eléctrica española no sería capaz ni de almacenar la energía necesaria para varios días seguidos (Red Eléctrica de España [REE], 2015). Aunque se estén haciendo avances importantes, las baterías hoy en día no son lo suficientemente eficientes. Por tanto, mientras no se realicen avances en esta área o, se encuentre energías renovables que no estén sujetas a la aleatoriedad del medio natural y sean lo suficientemente eficientes en cuanto a la cantidad de energía que producen, nos vemos inevitablemente sometidos al yugo de algún tipo u otro de fuente no renovable de energía. Este factor en concreto va a ser clave para entender la transición de los próximos años. Demanda que ahondemos más adelante en el estado de los avances tecnológicos en sistemas de almacenamiento de energía.

Vemos por tanto que políticas como las que intentaba lograr el partido socialista en España para lograr la desnuclearización en 2027 (Montero, 2019), no sea probablemente ni realista ni conveniente. A nivel económico y social a largo plazo a España no le conviene una desnuclearización. En parte se suele intentar vender este tipo de programas para lograr una mayor sostenibilidad y reducción de emisiones cuando, en realidad, actualmente no existe una alternativa mejor mientras (Fernández-Cuesta, 2019), como

dijimos antes, no se consigan avances en almacenamiento de energía que permita suplir los periodos de escasez natural a los que están sometidos las renovables.

A este hecho ha de sumárseles la máxima internacional sobre la vida útil de las centrales, en este sentido el período de vida útil de 40 años se marca como referencia indiscutible a nivel global (Sociedad Nuclear Española [SNE], 2016). Estos 40 años son una referencia, no es inamovible, en general no existe en ninguna legislación ni una norma específica que imponga el cierre llegada esta fecha. En general, un año antes de cumplir este plazo, se suele pedir un dictamen en el que se establece la viabilidad o no de la fábrica. En España, por ejemplo, una vez se renueva (aún no se ha dado el caso) se requiere de revisiones periódicas cada 10 años. Para que nos hagamos una idea actualmente existen 85 reactores en todo el mundo a los que se les ha dado la licencia para alargar la vida útil de 40 a 60 años (World Nuclear Association [WNA], 2019)

Esto puede tener mucha importancia si lo ponemos en convergencia con los otros factores mencionados. Por ejemplo, en España, actualmente se encuentran seis centrales en activo, habiéndose cerrado debido a una fuerte presión política la central de Santa María (Cervilla, 2017). Las seis tienen una vida útil de entre veintiséis y treinta y nueve años, lo que quiere decir que en menos de catorce años se van a tener que renovar los permisos que les permitan operar más allá de su vida útil a todas las centrales, lo cual si estudiamos el ejemplo de Santa María veremos que es una tarea extremadamente complicada debido a los intereses políticos que acarrea. Esto puede ser un problema fundamental si al mismo tiempo que se cierran las centrales nucleares, no se producen avances que suplan dicha fuente de energía en el almacenamiento de las renovables. Por tanto, el gobierno debería de ser especialmente cuidadoso en este tipo de cuestiones ya que, es evidente que la utilización de energía nuclear está fuertemente sometida a opinión pública al existir altos riesgos con la misma y, en general, una desinformación abrumadora sobre las condiciones en las que opera y los efectos de esta.

En este sentido, resulta especialmente curioso como los mencionados cambios políticos pueden afectar considerablemente. El mencionado ejemplo de España solo es un indicativo de lo que sucede en todo el globo. Tras el accidente de Fukushima, alguna de las grandes potencias como Alemania se erigieron como pilares morales de la desnuclearización a favor de la sostenibilidad y el cambio climático, comprometiéndose a cerrar en el corto/ medio plazo todas las centrales del país (Organismo Internacional de Energía Atómica [IAEA] (2019). De esta manera se pretendió en cierto modo aprovechar

este acontecimiento fatal para promover políticas sostenibles en aras de favorecer el cambio climático. Poco tiempo después, la experiencia demostró que una desnuclearización tan agresiva como la que estaba llevando a cabo Alemania dimanase en un aumento de las emisiones de CO₂, algo absolutamente inesperado para los políticos alemanes que, un año antes prometían lo contrario y eso que, ya en 2007 la Agencia Mundial de la Energía Nuclear les había advertido de esta posibilidad (WNA, 2019)

Tras el ejemplo de Alemania, esta tendencia de desnuclearización se frenó drásticamente y, ocho años después del accidente de Fukushima, Alemania es el único país que tiene planes de desnuclearización mediante los que va a seguir desmantelando centrales. Por otro lado, tan solo tres países han suscrito políticas por las que se comprometen a no construir nuevas centrales, a saber, España, Bélgica y Suiza. De hecho, las grandes economías emergentes como China, la India, los Emiratos Árabes o Arabia Saudita abogan por un fuerte plan de nuclearización, así como otros muchos países (Organización Internacional de Energía Atómica [OIEA], 2019).

El país con más centrales del globo es EE. UU., con 98 centrales nucleares y generando alrededor de un 19% de la energía total del país (WNA, 2019), lo que le coloca en una buena posición de cara a la transición energética. El segundo país con más centrales es Francia, con 58 reactores nucleares, aunque realmente, es el país que más aprovecha la energía nuclear, produciendo alrededor del 71% de la energía del país y teniendo únicamente previsiones de cierre para 2030 (WNA, 2019). En tercera posición, se encuentra Japón, que antes del accidente de Fukushima contaba con 42 reactores que producían alrededor del 27% de la energía del país. Tras el accidente se frenó el uso de este tipo de energía drásticamente y, en el año 2016 tan solo producían un 2% de la energía total (Fresco, 2018).

Para finalizar con este punto, me gustaría enfatizar que es necesario que debe corregirse la mala imagen de las centrales nucleares, los dos accidentes devastadores y conocidos en ambas centrales fueron por hechos que actualmente podemos prever (Japanese Nuclear Energy [JNE], 2019). Por un lado, Chernóbil, fue una combinación de falta de prevención de riesgos sobre la energía nuclear, un mal diseño de la central, que ni siquiera tenía un recinto de contención (algo absolutamente impensable hoy en día) y errores (IAEA, 2019) producidos por los operadores de la misma. En esencia, no existía una cultura de seguridad nuclear (Gil, 2016). Por otro lado, el accidente de Fukushima no se hubiera producido si no hubiera sido por el imprevisible tsunami que devastó Japón

(JNE, 2019). Con Chernóbil no existía una cultura de seguridad y, con Fukushima no se había previsto como la inestabilidad del terreno podría llegar a afectar a la central (Reinoso, 2012). Por tanto, debe ponerse énfasis en el alto grado de seguridad al que están sometidas todas las centrales y sus beneficios en relación con el cambio climático, que se han visto tapados por las abundantes políticas contra la energía nuclear.

Ahora una vez sentada la energía nuclear como un factor clave en los próximos 20 o 30 años, vamos a seguir analizando otro tipo de variable que debemos tener en cuenta para calcular de manera objetiva cual será el futuro de la transición energética. De momento podemos afianzar dos datos relevantes con respecto a las dos primeras variables. Por un lado, las energías fósiles se relacionan por muchos motivos de manera inversamente proporcional a las fósiles y, por otro lado, la energía nuclear podría ser una aliada mientras las renovables no consiguen un nivel de competencia adecuado.

3. EL CAMBIO CLIMÁTICO

Si realizamos un trabajo intentando indagar el futuro del sector energético se nos hace inevitable hablar probablemente del cambio climático. Para no contar lo que todo el mundo sabe, vamos a entrar directamente en la materia que interesa a efectos del trabajo.

Cuando hablamos de cambio climático más que de una variable de estudio, en este caso estamos hablando de un inductor de cambio en el sentido de que, si éste no se hubiera apreciado, la necesidad de este trabajo se reduciría sobremanera. Es decir, el modelo actual de consumo de energía no es sostenible para la naturaleza a largo plazo (European Environmental Agency [EEA], 2019), ni siquiera para el propio hombre, ya que cada año se producen más y más muertes por contaminación (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019). De esta manera el ser humano se ve obligado si quiere proteger a las generaciones futuras a realizar un cambio en uno de sus sectores más importantes y capitalizados. Por este preciso motivo, el cambio climático ha sido negado durante muchos años por las élites políticas y científicas (Krugman, 2018). Pensemos que uno de los principales afectados por el nuevo modelo de consumo es el sector de las energías no renovables, principalmente las energías fósiles (petróleo, carbón y gas natural) cuyo consumo proporcional se podría ver afectado de manera drástica en las próximas décadas.

A efectos de este trabajo, por tanto, únicamente debemos entender este hecho, estamos en el límite de poder evitar el cambio climático (Acción Climática, 2019) y para lograr esto la principal arma con la que contamos es la reducción de emisiones de CO₂ (Sustainable Development Goals, [SDG], 2019). Emisiones provenientes en casi su totalidad de la quema de combustibles fósiles. El problema es que, si eliminamos por completo los fósiles, probablemente nuestra economía se colapsaría debido al alto grado de dependencia que actualmente tenemos con los mismos. La solución pues, se trata de una reducción gradual de los mismos; apareciendo inevitablemente como único y fiable aliado nuestra próxima variable de estudio: las energías renovables.

Por último, cabe destacar el mensaje lanzado en la reciente Cumbre del Clima celebrada en Madrid en diciembre de 2019 y es que se plantea que ya actualmente nos encontramos en una situación de emergencia y, en este sentido, las medidas que se tomen deben ser mucho más ambiciosas (Cerrillo, A., 2019)

4. ENERGÍAS RENOVABLES:

Llegado este punto, entramos en una de las partes fundamentales del trabajo, las energías renovables. Antes de entrar en los diferentes tipos, debemos hacer una introducción que contextualice aquellos aspectos comunes de las diferentes energías renovables y nos permita comenzar nuestro estudio individualizado con ciertas bases.

Procedemos a continuación a dar una definición más económica de las energías renovables, acorde con el trabajo que nos ocupa. Éstas “son principalmente fuentes de energía nacionales que contribuyen al valor agregado regional” (Olzog, 2017). Nacionales, puesto que su naturaleza propia les impide, con ciertas excepciones, aprovechar recursos que se encuentran más allá de sus fronteras.

Son las únicas fuentes de energía que ya eran aprovechadas por nuestros antepasados, por ejemplo, las corrientes de agua en los molinos. Además, este tipo de fuente de energía contribuye en la actualidad a diversificar los recursos energéticos de una economía, este factor resulta fundamental puesto que reduce la dependencia de los combustibles fósiles, los cuales están sometidos a importantes fluctuaciones de demanda (Renewable Energy, 2018).

Para finalizar, vamos a hablar de probablemente el factor fundamental que condicionará la velocidad con la que se da esta transición energética a las renovables: actualmente presentan serias desventajas de eficiencia y de innovación con respecto a sus competidoras las energías fósiles (IEA, 2019). Esto es lo que condiciona que, aunque prácticamente todos los países estén invirtiendo y realizando un cambio progresivo a las renovables, no se pueda hacer un cambio total y absoluto a las mismas para frenar de golpe el cambio climático.

El clima, este último factor, al mismo tiempo demanda que para realizar un cambio absoluto se reduzca la incidencia de esta variable aleatoria tan importante. Para ello se requeriría, o bien baterías que permitieran almacenar energía suficiente para estos periodos de escasez (Agencia Internacional de Energías Renovables [IRENA], 2017), o bien cambiar el modelo de consumo de energía actual, que como ya explicamos al principio, funciona por demanda. ¿Por qué debería de cambiarse? Porque como ya hemos explicado, el clima no permite satisfacer la demanda de manera constante. Actualmente existen diferentes maneras de abastecer una economía energética. Por ejemplo, en España, la mayoría de las eléctricas como por ejemplo Iberdrola, una de las tres gigantes de la

electricidad de nuestro mercado (Molina, 2018), primero utiliza la energía eólica y, cuando esta se agota, recurre otras energías fósiles más baratas, como el carbón, al que se puede acceder en cualquier momento (Servimedia, 2016). Un cambio absoluto empleando únicamente energías renovables en el panorama actual no sería posible, al no existir baterías que permitan almacenar la suficiente energía para evitar las situaciones en las que el clima, no permite que las fuentes renovables operen para satisfacer la demanda (González, 2017). Es decir, se daría un desabastecimiento de energía. De esta manera y como el sistema de demanda de energía es un sistema tan implantado como el capitalista, sería muy complicado realizar un cambio en el mismo, de manera que el uso de fuentes no renovables seguirá siendo inevitable durante los próximos años (Renewable Energy, 2018). Todos estos factores, además, no permiten que se produzca la migración de tecnología de los principales sectores (producción y transporte), por lo que la necesidad de las mencionadas se reitera.

Una vez sentadas estas bases, podemos pasar a analizar individualmente cada una de las diferentes fuentes de energía renovable. Como nuestro estudio es fundamentalmente económico-cuantitativo, únicamente comentaremos aquellos aspectos que puedan ser relevantes en este sentido. Éstos fundamentalmente serán, descartando aspectos contextuales que podamos aportar, el estado de la técnica actual (que pasará por comentar desde sus antecedentes, hasta su capacidad productiva) y las predicciones futuras sobre su importancia en el mercado.

4.1 Energía hidráulica o hidroeléctrica:

Indudablemente, la primera energía renovable que tenemos que mencionar es la hidráulica puesto que, tiene sentido a nivel, tanto económico como probablemente de importancia.

Antes de entrar en materia también debemos de distinguir dos conceptos. En general, nos vamos a referir a ciertas unidades de medida. Por un lado, Megavatios de potencia instalada (MW) que es la máxima capacidad productiva que tiene una central, una economía o un país (European Wind Energy Association [EWEA], 2019). Cuando hablemos de ésta nos referiremos a la máxima capacidad que puede generar una unidad de referencia en condiciones de funcionamiento ideales. Esta unidad de referencia puede ser una central hidroeléctrica: por ejemplo, la Presa de las Tres Gargantas genera 22.500 MW de potencia instalada (International Hidropower Association [IHA], 2019). Una

fuerza de energía en una economía: por ejemplo, las energías eólicas representan el 8% de la potencia instalada global. O de todo el mundo, por ejemplo, decir que la potencia instalada de todas las fuentes de energía globales es, 15 millones de MW (no son cifras reales), querría decir que en condiciones óptimas esa sería la capacidad global de generación de energía.

Por otro lado, hablaremos de Teravatios hora (TWh), para referirnos a la energía efectivamente producido en un periodo temporal concreto, y por ello se multiplica por una unidad de tiempo (Office of Energy efficiency and Renewable Energy, 2017). De esta manera, por ejemplo, Brasil es el segundo país en generar energía hidroeléctrica, generando alrededor de 410 TWh anuales y con una potencia instalada de 98.000 MW (Energy Information Administration [EIA] 2014). Sin embargo, Estados Unidos, posee la segunda mayor potencia instalada 102.500 MW, pero únicamente produce alrededor de 270 TWh anuales, siendo el cuarto país en energía generada (U.S. Department of Energy Water Power, 2018).

Hablando sobre aspectos que influyen en su beneficio. El principal problema que presentan estas centrales eléctricas es sin duda su puesta en funcionamiento; debido a varios motivos. En un primer momento, por un lado, requiere de una inversión inicial sustancial. Por otro lado, su principal problema es el impacto ambiental que ocasiona. En general la mera creación del embalse suele acarrear el desplazamiento de poblaciones enteras, podemos destacar el caso de España, donde en la actualidad, más de 500 pueblos fantasma permanecen sumergidos como consecuencia de su construcción (Santamaría, 2019). El caso probablemente más importante e impactante que se conoce sobre este suceso de desalojo sea China ya que la central hidroeléctrica de las Tres Gargantas ocupa una superficie de 632 km cuadrados. Para construirla se tuvieron que desalojar un total de 1.500 pueblos, alrededor de 1 millón y medio de personas (Reinoso, 2006). También hay que tener en cuenta que la rotura de embalses ha causado un número importante de catástrofes en las poblaciones cercanas, lo que ha hecho que hoy en día se intenten construir en zonas más apartadas. Esto ha llevado a construir redes de transporte que permiten que se pierdan importantes cantidades de energía.

Sin embargo, no todos los aspectos son negativos, de hecho, podríamos decir que los aspectos positivos son mayores. Es innegable que la industria hidroeléctrica tiene proyecciones futuras muy positivas, los números lo corroboran. Las últimas cifras de las que disponemos nos indican que esta fuente de energía ya ha superado los 1000 GW de

potencia instalada (1 Gigavatio (GW) = 1000 Megavatios (MW)) (Observatorio Económico EEUU, 2011), lo que equivaldría a un 16,5% de la electricidad producida mundialmente, cifras nada despreciables.

Por otro lado, China es el país que más produce energía hidroeléctrica, produciendo 324.000 MW de potencia instalada, es decir, alrededor del 26% de la potencia instalada global (IRENA, 2019). Además, produce el 30% de la energía interna, teniendo como mencionamos antes la central hidroeléctrica más grande del mundo. Curiosamente debemos pararnos a hablar un momento más acerca de esta central puesto que, además de ser la central que más ocupa a nivel de superficie del mundo, incluyendo en esta las centrales nucleares, también es la central que más potencia instalada produce. Para que nos hagamos una idea, la central nuclear más grande del mundo está situada en Kashiwazaki-kariwa (Japón) y produce alrededor de 8.212 MW (Tokyo Electric Power Company [TEPCO], 2019), mientras que la central de la Presa de las Tres Gargantas produce alrededor de 22.500 MW. La importancia de la energía hidroeléctrica se dispara cuando sabemos que la mencionada central japonesa es tan solo la cuarta central que más energía produce, estando por delante tres centrales hidroeléctricas (Fresco, 2018).

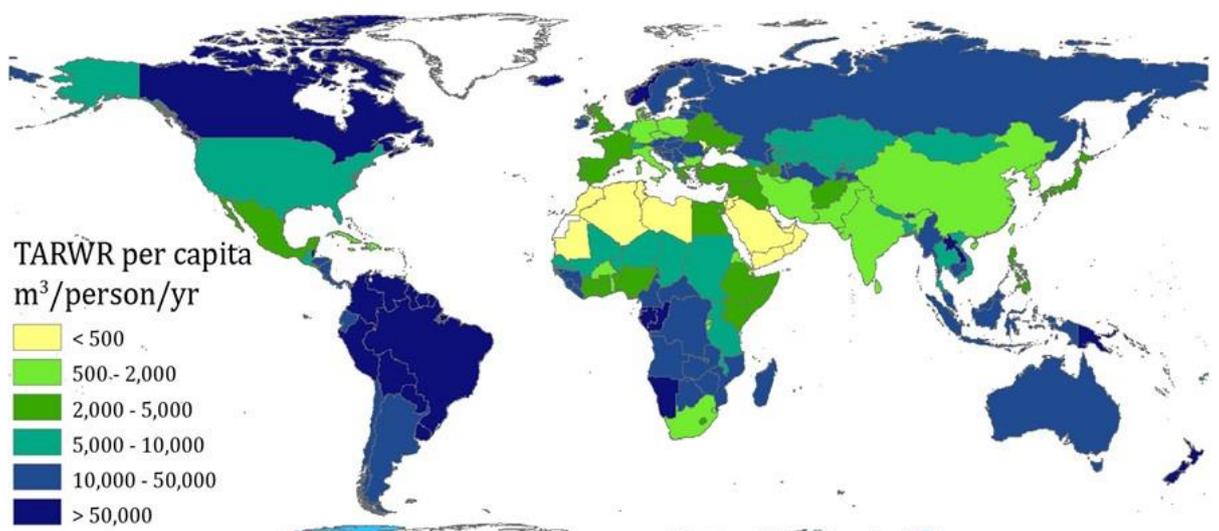


Figura 2: Projects. ICIWaRM

Si atendemos al llamado TARWR (Total Actual Renewable Water Resources) (International Center for Integrated Water Resources Management [ICIWaRN], 2018) podemos decir que existen en general dos tipos de perfil de países en donde la energía hidroeléctrica es fundamental. Por un lado, todos aquellos países donde los recursos hídricos destacan por su abundancia y, por otro lado, aquellos países en vías de desarrollo, puesto que, una vez instalada la central, su longevidad puede ser enorme y los costes de

mantenimiento y producción son por lo general bastante bajos (IRENA, 2012). Pensemos que aprovechan el agua y, en este sentido su coste es cero. Esta última idea puede que sea fundamental, primero, para dar acceso a la electricidad a todo el mundo, puesto que teniendo en cuenta la mencionada vida útil de las mismas, podemos decir que su coste es extremadamente bajo si observamos las ventajas que conlleva.

Como reflexión, pensemos que puede que sea verdad que el impacto ambiental pueda ser un factor fundamental, pero el hecho es que hoy en día muchos países en vías de desarrollo disponen de recursos hídricos desaprovechados (Worldbank, 1999), si los aprovecharan construyendo una única presa no solo podrían beneficiarse de las ventajas energéticas, sino de las ventajas económicas, ya que por lo general, los países en desarrollo que implementan este tipo de políticas se convierten en países exportadores de energía a sus vecinos, ya que suelen tener como consecuencia de las presas un excedente de energía. Pensemos que no se aprovecha igual 1 MW de energía en Estados Unidos que por ejemplo en Uganda, la población individualmente consume muchísimo menos². Para que nos hagamos una idea, Etiopía inauguró en 2016 una central hidroeléctrica con una capacidad productiva de 1870 MW permitiendo convertirse en exportador de energía (BBC Mundo, 2018).

Siguiendo estos dos perfiles de consumo hidroeléctrico mencionados, vemos como el mapa global de configuración de esta fuente de energía nos da la razón. El segundo país que más energía hidroeléctrica genera es Brasil. Produciendo 98 mil MW de potencia instalada (7,8% del global) (Molecular Diversity Preservation International [MDPI], 2018). Produciendo alrededor del 65% de la energía total de su país (IRENA, 2019). Vemos que Brasil responde a ambos perfiles, por un lado, se trata de un país en vías de desarrollo y, por otro posee unos importantísimos recursos hídricos, destacando el Amazonas, el río más caudaloso del mundo.

Destaca también Canadá, siendo el tercer país del mundo en electricidad hidroeléctrica generada (380 TW) y el cuarto con mayor capacidad instalada (80.000 MW), produciendo alrededor del 62% de la energía total del país (Natural Resources Canada [NRC], 2019). Canadá entra dentro del primer perfil, un país desarrollado, pero con fuertes compromisos con las energías renovables e importantes recursos hídricos.

² De hecho hace pocos días sabíamos que según cifras de Oxfam Intermón, un español medio contamina en un año lo mismo un granjero ugandés medio en 59 años (Oxfam Intermón Media Briefing, 2019)

A nivel de proyecciones futuras dentro de las grandes potencias destaca Rusia. Actualmente posee una fuerte industria petrolera, pero tiene vastísimos recursos para llevar una futura transformación a las energías renovables (UNESCO, 2015) (Vemos como en el mes de marzo de 2019, Rusia ha inaugurado las operaciones en dos centrales hidroeléctricas en Crimea. Aunque, lo cierto, es que más que una política a favor de la implementación de las energías renovables, se trata de una estrategia de asentamiento de la anexión de la Península de Crimea, en contra de la opinión internacional (Shemetov, 2019). De hecho, se estima que es el segundo país con mayor capacidad hidroeléctrica del globo, actualmente abastece alrededor del 20% de su economía con recursos hídricos, pero se estima que solamente está utilizando el 20% de su capacidad productiva (Fresco, 2018). Es decir, una potencia como Rusia, actualmente posee los recursos para satisfacer el 100% de la demanda. Tiene una ventaja fundamental que no está aprovechando y que, si lo hace correctamente, puede llegar a marcar la diferencia con su eterno rival, Estados Unidos. Prácticamente ningún país del mundo posee recursos hídricos para satisfacer toda la demanda poblacional, descontando por supuesto aquellos países en vías de desarrollo y por supuesto Noruega, que probablemente sea el ejemplo más destacable, produciendo alrededor del 97% de su energía a través de centrales hidroeléctricas. Por ello resulta especialmente destacable que una de las grandes potencias globales históricas tenga ese poderío hídrico tan desaprovechado. Debemos mencionar también a Albania que produce el 98% de su energía de esta fuente (European Commission, 2019).

Por último, podemos destacar el segundo perfil diferenciado del que hablábamos antes, aquellos países en desarrollo ricos en recursos hídricos. Son un ejemplo fundamental, ya que algunos de ellos producen alrededor del 95 y 100% de la energía eléctrica de sus países a través de fuentes renovables y, en general, la energía hidroeléctrica por el avanzado estado de la técnica en que se encuentra, suele ser la primera opción. Destacamos, Zambia, la República Democrática del Congo, Mozambique, Namibia o Etiopía (IRENA, 2019). En general, estos países se caracterizan por estar fuertemente ruralizados, de manera que existen numerosas zonas en las que la electricidad ni siquiera es una opción. Por ello logran fácilmente satisfacer la demanda con llevar a cabo un pequeño desarrollo de sus recursos naturales y convertirse además en exportadores.

Para finalizar y como conclusión, con la información que hemos obtenido de esta variable ya podemos ir anticipando en cierto modo el papel que tendrá esta fuente de

energía en el mercado energético futuro. En aquellos países donde los recursos hídricos sean abundantes, este tipo de energía será fundamental para realizar una transición a energía limpia y reducir las emisiones, fundamentalmente por la alta capacidad que tienen para lograr un amplio abastecimiento de la población debido a su alta potencia instalada. Además, como hemos visto, esta potencia de las centrales hidroeléctricas no tiene nada que envidiar a otro tipo de fuentes alternativas no renovables. Probablemente, el único problema que pueda presentar son sus dimensiones, por lo que serían relevantes avances en este sentido, lograr aprovechar de alguna manera mejor el espacio para así también reducir el impacto ambiental y minimizar las posibilidades de un accidente.

4.2 Energía eólica

Al hablar de la energía eólica, antes de entrar en aspectos de tipo más económicos debemos, siguiendo la línea de los anteriores puntos, dar una serie de bases que nos permitan entender mejor su funcionamiento. La energía eólica es aquella que transforma la energía cinética de las corrientes de aire en electricidad. El primer concepto que debemos definir para hablar de la energía eólica es el factor de capacidad, que es una fusión de los conceptos antes señalados de capacidad instalada (medida en MW) y la energía producida (TWh). Así, el factor de capacidad es el resultado que obtenemos del cociente entre la energía producida y la energía teóricamente producible por un sistema de referencia (United States Nuclear Regulatory Commission [US.NRC], 2019), por ejemplo, un parque eólico. Es importante entender este concepto porque influye directamente en aspectos fundamentales de esta energía renovable. De esta manera, el factor de capacidad medio de un parque eólico es de un 24 o 41%, esto se debe a la aleatoriedad de la fuente que requiere la energía eólica, el viento (EWEA, 2019). De este modo, no solo influye la presencia o ausencia del mismo sino, sobre todo, la velocidad. Para que un aerogenerador funcione requiere mínimo una velocidad de 10 km/h y, en general no pueden operar por encima de velocidades de 90 km/h, sino se arriesgarían a una posible rotura del mismo. La velocidad óptima, con la que mayor energía generan, se sitúa alrededor de los 54 Km/h (EWEA, 2019).

Debemos distinguir dos tipos de aerogeneradores que ya mencionamos al principio, los de eje horizontal y los de eje vertical. Los primeros, también llamados de tipo ventilador, son los tradicionales, y en los que más está desarrollado el estado de la técnica. Por otro lado, existen también los aerogeneradores de eje vertical, éstos se desarrollan desde hace pocos años, pero su proyección de cara al futuro es muy buena. Son mucho

más pequeños, y funcionan con menores velocidades. Además, al estar situados verticalmente, no requieren de una base rotatoria que los oriente hacia el viento. Al funcionar a menores velocidades, permite situarlos a ras de suelo, aunque, a mayor altura, mayor velocidad. Esto sumado a que ocupan menos espacio y hacen bastante menos ruido, hace que su uso se esté haciendo popular a nivel doméstico como una fuente limpia de energía (Energy Information Administration, [EIA], 2019)

Una vez sentado lo anterior, comenzaremos hablando sobre aquellos aspectos estructurales que incidirán en la transición energética. Los aerogeneradores que importan actualmente a nivel económico son aquellos situados en parques eólicos y conectados a la red eléctrica. Un parque eólico es una agrupación de un gran número de molinos, generalmente de eje horizontal, éstos han de estar situados a una distancia mínima de 150 metros (aproximadamente entre 5 y 10 veces el diámetro de sus rotores) el uno del otro, ya que si no se podrían producir interferencias en las corrientes de aire que reduzcan el rendimiento de éstos (Fresco, 2018). Parece entonces que el impacto medioambiental del mismo es grande por la estructura, que ocupa mucha superficie.

El verdadero problema que presentan los parques eólicos a nivel ambiental está muy relacionado con el impacto que tiene su funcionamiento sobre las aves. Existen multitud de muertes documentadas de aves y murciélagos, no únicamente debido a impactos contra los mismos, sino que se ha demostrado que el giro de las palas de los aerogeneradores incide directamente sobre presión atmosférica de la zona, haciendo que el medio en el que se mueven, su hábitat se vea profundamente alterado (Moragues, J. y Rapallini, A.,2016). Lo cierto es que si comparamos estas cifras con el impacto que tienen otras fuentes de energías, podría llegar a parecer muy comparable ya que, como dijimos antes, la presencia de partículas contaminantes por culpa de la quema de energías fósiles mata a millones de personas anualmente, lo mismo pasa con los animales (OMS, 2019). Sin embargo, los parques eólicos tienen una característica en común con muchas especies de aves, les gustan los sitios altos. Esto hace que sean una amenaza directa para aquellas aves que se encuentran en peligro de extinción y tienen molinos en sus proximidades. Con respecto a la contaminación, las emisiones de partículas de efecto invernadero una vez instalada es cero, únicamente se producen emisiones en su fabricación, transporte y puesta en funcionamiento (EWEA, 2019). También hay que tener en cuenta la contaminación acústica, ya que en general los molinos situados en los parques eólicos son bastante ruidosos. Aun así, los aerogeneradores de última generación son bastante silenciosos y las

proyecciones futuras que existen en cuanto a este respecto son muy positivas (Moragues, J. y Rapallini, A.,2016).

En segundo lugar, tenemos que hablar ahora de otro factor importante en este sector, la innovación. De esta manera, hace no muchos años, los parques eólicos no compensaban, su escasa capacidad para producir energía hacía que se tuvieran que instalar numerosos molinos para poder producir cantidades importantes. Esto, sumado a que su coste era de media de 1 millón de euros por cada aerogenerador y su vida útil era inferior, hacía que no fueran una opción viable. Hoy en día se han realizado rápidos avances en todos estos aspectos y generar energía a través de un parque eólico se puede decir que es absolutamente rentable. Por un lado, con la construcción de los parques eólicos marinos, se busca aumentar la productividad ya que, en el mar, el viento es más constante y fuerte (Dreyer, J., 2017). Éstos aún no están absolutamente desarrollados, sin embargo, ya encontramos importantes inversiones en Europa con 4.5 MW de potencia instalada e importantes proyectos tanto en Asia como en Estados Unidos (Global Wind Energy Council [GWEC], 2018) pero no cabe duda de que se producirán avances importantes en los próximos años. Aún así cabe decir que, para finales de 2017, el 84% de la eólica marina se situaba en Europa (GWEC, 2017)

El tercer punto que debemos comentar es el estado actual de las inversiones en eólica y las tendencias actuales en la misma. Lo cierto es que a diferencia de ciertas excepciones de países áridos o pocos montañosos, es poco usual que un país no se pueda aprovechar en mayor o menor medida de esta fuente de energía. Por supuesto, existen zonas idóneas donde se dan las condiciones óptimas de viento que se deben aprovechar para realizar este tipo de labores energéticas. Un ejemplo de esto es la Patagonia Argentina, según los expertos una verdadera joya para la explotación eólica ya que, cerca del 70% de su superficie, tiene las condiciones perfectas; otro ejemplo podría ser Groenlandia, que como podemos ver en el Global Wind Atlas elaborado por la Universidad de Dinamarca, presenta un altísimo potencial eólico (The World Bank, 2017)

Para que entendamos la importancia generada a nivel global por la energía eólica, podemos decir que esta es la segunda fuente de energía renovable que más produce, solamente por detrás de la hidráulica. Las últimas cifras de 2017 nos dicen que había 539.123 MW de potencia instalada global, un aumento de casi un 20% con respecto al 2016 (IRENA, 2018) y, en 2018 ya habían superado los 597.000 MW, habiéndose añadido más de 50 GW en un solo año (World Wind Energy Association [WWEA], 2018). La

tendencia desde el año 2001 crece vertiginosamente, habiendo aumentado desde entonces su capacidad productiva en un 95,5% (GWEC, 2018). Es decir, a nivel de crecimiento relativo, la energía eólica como productora de energía supera con creces el crecimiento desarrollado por su hermana, la energía hidráulica que le lleva cien años de ventaja en su implantación, y cuyas cifras de los últimos años no terminan de experimentar un crecimiento importante, al requerir de grandes inversiones. Por tanto, este factor, nos da un indicativo importante de por donde se va a desarrollar este sector en los próximos treinta años, teniendo probablemente la energía eólica un papel central.

Como podemos ver en el informe elaborado por el GWEC (2018); entre los países que lideran la capacidad instalada de energía eólica encontramos en primer lugar a China, con casi el 35% por ciento del total. En este sentido, es sumamente destacable las impactantes inversiones que está haciendo este país en renovables, lo que probablemente haga que en menos de diez años se sitúe como la principal potencia energética mundial, al irse reduciendo poco a poco la industria petrolera, que todavía maneja el 85% de la producción global de energía. En este sentido en 2006, China solo poseía alrededor de 2.600 MW de potencia instalada, mientras que hoy en día tiene 188.392 MW (IRENA, 2019) y estima que, para 2020 tendrá alrededor de 230 mil MW (GWEC, 2019). Además, tienen predicciones muy ambiciosas de cara al futuro, esperando producir en 2050, un millón de MW, casi el doble de la capacidad mundial actual.

El segundo país es Estados Unidos con alrededor de 89.000 MW de potencia instalada a finales del 2017, generando alrededor del 6% de la energía nacional. En tercer lugar, se sitúa Alemania con 56.000 MW de potencia instalada, alrededor del 20% de su producción nacional, pero, por las especialidades del sistema de abastecimiento de energía por demanda, existen momentos en que se llega a abastecer alrededor del 60% del consumo (GWEC, 2018).

Debemos destacar indudablemente dos casos. Por un lado, el ejemplo de Dinamarca, un referente global en energía eólica ya que, la mayor parte de patentes en este sentido las poseen dos de las empresas principales y más grandes del mundo en el sector de la eólica, ambas danesas (Fresco, 2018). Por otro lado, España, la quinta potencia eólica del mundo en 2017 (En Europa, solo por detrás de Alemania), pero que, antes de las inversiones de países como China, era en 2006 la segunda potencia en energía eólica. Así, en este sentido, podemos decir que somos unos de los precursores de este sector en todo el mundo, produciendo actualmente un total 23.170 MW anuales (GWEC, 2018) y siendo la segunda

fuelle de generación de energía en nuestro país según datos de la Asociación Empresarial Eólica (2018). Existiendo los primeros molinos desde los años 90, cuando aún no era ni tan siquiera rentables. En este sentido, se cubre aproximadamente el 20% de la demanda general a través de este tipo de energía, y su implantación se debió a una fuerte campaña política en su momento (Asociación Empresarial Eólica (AEE), 2017). Mirándolo en retrospectiva y viendo los avances posteriores, es indudable que España dio un salto prematuro a estas energías. Por otro lado, en 2012, debido a la crisis económica se frenó la campaña para construir parques eólicos, habiéndose reanudado de nuevo en 2016 y, con expectativas de incrementar en 4.500 MW la potencia instalada para 2020.

Por tanto y para finalizar, vemos que indudablemente, la energía eólica va a tener un papel fundamental en los próximos años. Sería inteligente que cualquier país que disponga de los medios y las condiciones, realizaran inversiones en esta energía, ya que es una fuente barata (reduce el coste de la electricidad en un país), poco contaminante y, en general, sujeta a constantes innovaciones tecnológicas que la harán cada vez más rentable y eficiente.

4.3 Energía solar

La energía solar, es probablemente una de las fuentes de energía limpias más prometedoras que nos encontramos hoy en día. Actualmente, se dice que el ser humano es capaz de aprovechar alrededor de un 0,02% de la radiación solar que llega a nuestro planeta, recibiendo un total anual de 944 millones TWh y, dejando abierto un amplio horizonte para su explotación (Fresco, 2018). Es una fuente de energía constante y fiable, además, si se consiguiera aprovechar en su totalidad, no se agotaría más de lo que ya lo hace. Existen varios tipos de aprovechamiento de esta energía; con respecto a este trabajo, nos interesa la energía solar activa, que es cuando transformamos la energía solar en electricidad. A nivel de implantación económica y explotación como fuente limpia futura, vamos a hablar de tres tipos de energía solar activa; la energía solar térmica, la energía fotovoltaica y la energía termoeléctrica o de concentración (Renewable Energy World, 2017)

Con respecto a la primera, la energía térmica, consiste en la captación de energía solar para calentar un fluido, que suele ser agua, a un nivel de temperatura que permita satisfacer las necesidades térmicas de una instalación. Su uso suele ser fundamentalmente residencial, calentar la calefacción de un edificio, o el agua de una piscina (Renewable Energy World, 2017). En España, suele ser bastante frecuente observar la presencia de

este sistema en diferentes complejos residenciales. Esto es debido a que la nueva legislación española (igual que pasa en otros muchos países), obliga a que las nuevas residencias se construyen con algún tipo de alternativa renovable para la satisfacción de las necesidades térmicas de la comunidad (Código Técnico de la Edificación, 2006). Su aprovechamiento se está haciendo muy popular en este ámbito, sin embargo, lo cierto es que aún se requieren avances importantes en cuanto a su tecnología se refiere, ya que, a día de hoy, lo cierto es que no permiten satisfacer un sistema plenamente sin una fuente alternativa.

La segunda fuente de energía solar activa que nos encontramos es la energía fotovoltaica. Esta transforma directamente la radiación solar en energía eléctrica. Por tanto, difiere, como veremos del resto de fuentes de energía solar, que en general utilizan el giro de una turbina para lograrla. Su funcionamiento es muy similar a lo que conocemos como efecto fotoeléctrico, que es la emisión de electrones que producen ciertos materiales conductores al incidir la radiación solar sobre los mismos (Greentumble, 2017).

Esta fuente de energía presenta una serie de ventajas e inconvenientes. Por un lado, el principal inconveniente tiene que ver con su rendimiento. Además de que las placas solares no funcionan por la noche, su rendimiento en invierno es menos de la mitad de su rendimiento en verano y los días nublados tienen una pérdida del muy notable de la producción de energía (SMA Solar Technology, 2018). Esta desventaja es fundamental para lograr un aprovechamiento masivo de la energía solar, hoy en día no es la fuente de energía más eficiente, esto va a hacer que indudablemente su implantación efectiva global, no se produzca hasta que se den avances en las baterías para almacenamiento de energía. Aun así, su implantación a nivel global ya es comparable con el de otras fuentes de energía, destacando sobre todo su promedio de crecimiento anual. Así, en el año 2000, las placas solares tenían alrededor de 1.400MW de potencia instalada, habiendo experimentado un crecimiento constante anual de entre el 25 y 30% y, no parece que esta tendencia se vaya a ver frenada. Siendo la potencia instalada a finales de 2017 de 385.674 MW, esto permitiría generar alrededor del 2% de la energía eléctrica mundial (IRENA, 2018).

De nuevo, el país con más capacidad fotovoltaica es China, con alrededor de 130.632 MW de potencia instalada, habiéndose instalado la mitad de esta en 2017. El segundo país en este ámbito es Estados Unidos (IRENA, 2018)., destacando también sus recientes políticas para la instalación de placas solares, habiendo continuado Trump, las labores de

Obama en este sentido, habiéndose aumentado en los últimos 10 años en 75 veces la capacidad fotovoltaica (Solar Energy Industries Association, 2018).

Uno de los ejemplos más destacados es Alemania, se trata de un país en el que no hay una cantidad exagerada de radiación solar, más o menos la mitad de la que hay en el sur de España, por lo que la instalación de placas solares se vuelve menos rentable. Aun así, tienen alrededor de 42.394 MW de potencia instalada a finales de 2017, generando el 7% de la energía del país, y experimentando un crecimiento constante año por año desde los últimos 20 años, habiendo experimentado en 2017 un crecimiento del 4% con respecto al año anterior (un incremento de 1.680 MW) (IRENA, 2018). El año siguiente, el 2018, según datos aportados por la Agencia Internacional de Energías Renovables experimentaron un crecimiento del casi 8%, con un total de 45.930 MW de potencia instalada. Comentamos esto porque resulta bastante curioso, como hemos dicho y cómo podemos ver en el mapa de radiación solar (The World Bank, 2017) Alemania no es un país que se caracterice, destaque o se pueda ver la radiación solar como una ventaja competitiva. Sin embargo, al igual que consideramos que se confundieron en la desinversión nuclear, en este caso consideramos que lo están haciendo correctamente. Es cierto que Alemania no recibe una gran cantidad de energía solar, pero aun así la recibe y a día de hoy, es suficiente para que el país genere un 8% del total de su energía mediante las solares. Además, en el futuro, el rendimiento de las placas solares se incrementará sobre manera, haciendo que probablemente cualquiera se pueda beneficiar de la misma, aunque no estemos en zonas con alta radiación solar (aun así, es evidente que la radiación solar seguirá siendo un factor fundamental para la consideración de la ubicación de las plantas solares).

Por otro lado, la ventaja principal es que es un proceso generación de electricidad que no contamina absolutamente nada. Además, en los últimos años, el coste de las placas solares ha caído drásticamente. Mientras que hace unos años su uso residencial era impensable, hoy en día no es raro ver edificios que suplen parte de su suministro acudiendo a esta fuente renovable. Su acceso al público ha aumentado de una manera notoria y seguirá haciéndolo. Para que nos hagamos una idea, el precio ha caído en los últimos 10 años más de un 80% (IRENA, 2018), y no hablar de la variación de precio sufrido en los últimos 50 años. Así, aunque sea poco conocido, la energía solar se lleva utilizando para la generación de energía desde prácticamente los años 50. El problema es que estaban relegadas a un sector poco visible para el común de las personas, el sector

aeroespacial. Así, como dato curioso, el primer satélite que llevo incorporado placas solares fue el estadounidense Vanguard I, que combinaba energía solar con combustibles fósiles. Este satélite estuvo en órbita hasta 1964 gracias a la energía solar, ya que los combustibles fósiles se agotaron a los 20 días de alcanzar dicha órbita (ESA, 2003).

Por último, vamos a hablar de uno de los tipos de energía solar activa más interesantes, la energía solar termoelectrica de concentración. Es una combinación de las dos anteriores, utiliza la energía solar para calentar un fluido con el objetivo de terminar generando electricidad (Greenthumb, 2017). Existen fundamentalmente cuatro tipos de esta fuente de energía, pero a efectos económicos, en la actualidad, solo vamos a hablar de dos. Por un lado, las centrales de concentradores de cilindro-parabólicos, este tipo de centrales captan los rayos del Sol mediante espejos, concentrándolos en un tubo que los absorbe. Por otro lado, tenemos las centrales de torre central, su funcionamiento es similar al anterior, unos espejos situados alrededor de una torre concentran los rayos de Sol en un punto concreto de la misma, así evaporan un fluido que luego se utilizará para generar electricidad. Estas están cobrando mucha importancia en los últimos años, habiendo predicciones muy positivas para el futuro sobre su marcha (Renewable EnergyWorld, 2017)

Volviendo a la energía termoelectrica en general, podríamos decir que el factor fundamental que las convierte en una opción muy atractiva para el futuro es que pueden generar energía eléctrica por la noche. Otro factor muy importante para nosotros sobre esta fuente de energía relativamente nueva, es que es la única fuente de energía, sea renovable o no renovable, en la que España se sitúa líder mundial en su explotación (Europapress, 2019) esto es consecuencia de las políticas a largo plazo elaboradas por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDEA, 2011). Para que nos hagamos una idea, en 2018 (los últimos datos que encontramos), España poseía casi la mitad de la potencia instalada termoelectrica mundial, 2300 MW. Siguiéndole Estados Unidos, produciendo 1758 MW (IRENA, 2019). Existen numerosos países que están empezando a recurrir a este sistema, por ejemplo; Arabia Saudí, Australia o Sudáfrica. El ejemplo más destacable es China; que prevé que para 2020, tendrá una potencia instalada de 6.550 MW. Por otro lado, entre el año 2017 y 2018, el único repunte significativo que encontramos es en Marruecos, pasando de tener 180 a 530 MW de potencia instalada (IRENA, 2019).

El problema fundamental de esta fuente de energía es que, hasta relativamente poco era una fuente de energía cara y poco rentable. En este sentido, en los últimos años se han hecho importantes avances tecnológicos que han permitido que el precio de esta energía empiece a competir en el mercado, un ejemplo es que los costes de esta energía se han reducido en un 95% en los últimos 10 años (Cerrillo, A., 2019). Por tanto, podemos decir que tiene una proyección de cara al futuro muy interesante. Probablemente, demanda todavía mejoras significativas en la tecnología que permitan aprovecharla en mayor medida. De esta manera, seguimos viendo que, a fechas actuales, su implantación a nivel global no tiene mayor importancia si descontamos los ejemplos mencionados de España y Estados Unidos. De nuevo España, aunque pionera como sucedía con la energía eólica, lo cual es un aspecto muy positivo puesto que indica que somos un país comprometido con las renovables, seguimos probablemente dando pasos prematuros a nuevas fuentes de energía sin realmente ser un país cuya economía tenga un poder significativo a nivel global.

Para finalizar, debemos tratar brevemente una de las cuestiones principales que influirán en la implantación futura de esta energía. El potencial de un país para generar energía solar es directamente proporcional a la cantidad de radiación que recibe del Sol. Por ello, para entender perfectamente cual es el posible mapa futuro de implantación de esta energía, tendríamos que atender a aquellos países en los que ese factor de radiación sea mayor.

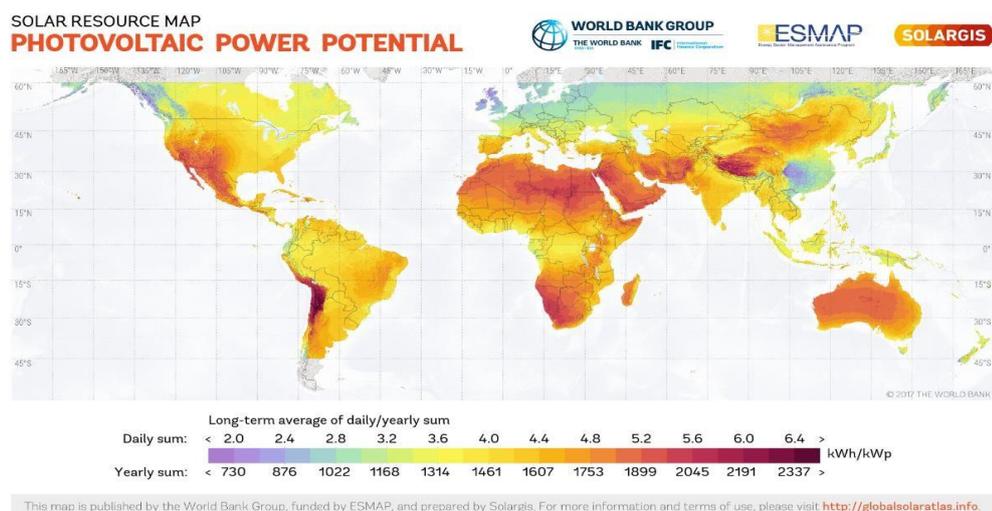


Figura 3: Photovoltaic Power Potential. The World Bank

Se suele decir, que el lugar con mayor potencial de energía solar del mundo es el desierto de Atacama (Solar World Congress [SWC], 2019) fundamentalmente Chile, pero también entra en contacto con Argentina y Bolivia. La radiación solar es fundamental

para entender este proceso de transición futura, así vemos que países como Rusia, Suecia, Inglaterra, Finlandia y, prácticamente todo el resto del norte de Europa, no se van a poder ver beneficiados por esta fuente de energía hasta que se produzcan importantísimos avances en su tecnología. Por otra parte, el sudoeste de Estados Unidos es una zona absolutamente proclive para la implantación de esta fuente. Vemos como prácticamente todo el sur del globo es apto para desarrollar este tipo de energía. Pudiendo facilitar que, en unos años, a través de la energía solar, se de acceso a la electricidad a todo el continente africano. Los mismo ocurre con los países de la Península Arábiga o Australia, con un alto potencial para explotar este recurso natural.

4.4 Energía geotérmica, mareomotriz y biomasa.

Una vez mencionadas las principales energías renovables que encontramos en nuestro planeta en el panorama actual, no podemos dejar de hablar de aquellas otras fuentes de energía limpia cuya implantación actual está floreciendo y, puede que en el futuro tengan una importancia fundamental. Por ello, aunque procuraremos no detenernos tanto en cada una de ellas, sí que consideramos fundamental hablar sobre su importancia relativa en el contexto actual y futuro.

4.4.1 Energía geotérmica:

La energía geotérmica, es la que obtenemos del calor dimanado por el núcleo de la propia Tierra (Instituto Geológico y Minero Español, [IGME], 2019). De esta manera, conforme perforamos la superficie terrestre el gradiente de temperatura aumenta. Este, aumenta de manera diferente en distintas zonas de la Tierra, lo que hace que determinados lugares sean más proclives que otros para la implantación de esta fuente de energía ya que, a mayor temperatura, mayor la energía geotérmica aprovechable (Llopis y Rodrigo Angulo, 2007). Existen tres tipos de energía geotérmica (US.EIA, 2019), los cuáles no consideramos necesario explicar para entender la importancia de este recurso energético.

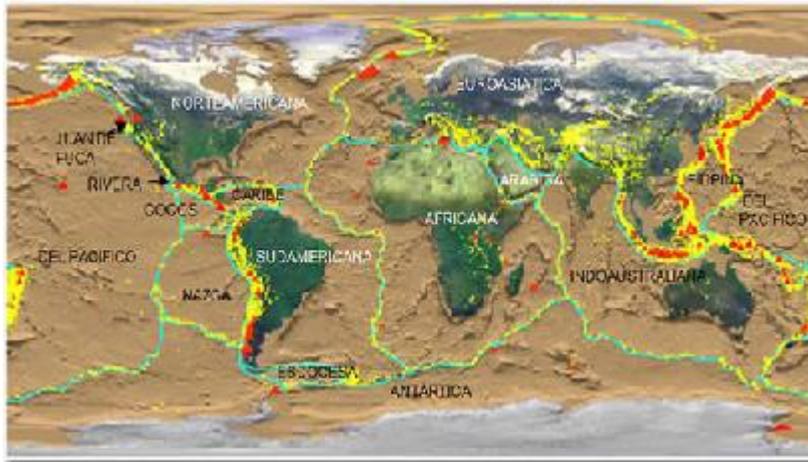


Figura 4: Tectónica de placas. Servicio Geológico Mexicano.

Lo mencionado, el distinto aumento de temperatura en distintas zonas de la Tierra, este, se produce en aquellos territorios donde la presencia de actividad tectónica es más pronunciada (IGME, 1996).

Así, esta será mayor en aquellas zonas donde exista proximidad o colisión de las placas tectónicas. Siguiendo este esquema, vemos que, por un lado, Europa en general, tiene poca capacidad geotérmica al estar situada justo encima de la placa euroasiática y, sin existir proximidad con otra placa en ningún punto del continente.

Por otro lado, tanto Centroamérica, Oceanía, el sur de Asia y, prácticamente todo el este y el oeste del Pacífico, serán zonas absolutamente proclives para que esta fuente de energía tenga una importancia más que relevante en el futuro de la transición energética.

Aunque lo cierto es que los expertos concluyen que prácticamente cualquier parte del planeta se puede beneficiar de la implantación de esta fuente de energía, incluso con el estado de los avances actuales en la misma, si bien es cierto que ciertas zonas serán más proclives para su rápida implantación masiva (Llopis y Rodrigo Angulo, 2007).

Una vez sentada la principal influencia sobre la viabilidad de este recurso, debemos hablar de cuál es el estado actual de la tecnología empleada en la energía geotérmica y cuál es su evolución e importancia en el contexto actual. Para entrar en este tema, debemos, ahora sí, distinguir dos tipos de energía geotérmica, la que se utiliza directamente para generar calor y, la que se utiliza transformándola en electricidad. Vamos a entrar únicamente en la segunda puesto que es la que más nos interesa a efectos de transición energética e impacto sobre el cambio climático.

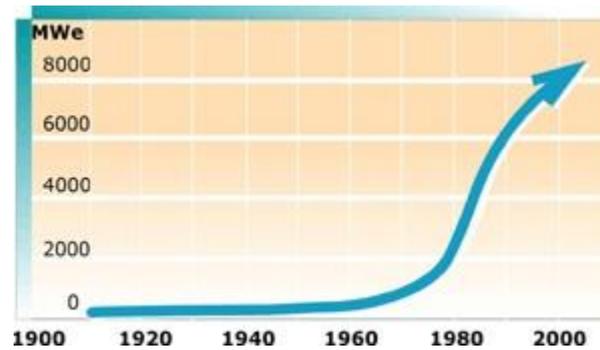


Figura 5: La geotermia en el mundo. IGME.

Por un lado, tenemos la energía geotérmica utilizada para generar electricidad. Como vemos en el gráfico, su verdadera implantación a nivel global, no se produce hasta 1980. Estados Unidos, lleva siendo los últimos veinte años, el país con mayor potencia instalada (actualmente tiene el 27% de la potencia instalada global). En el año 2000, había en el mundo 7.974 MW de potencia instalada (Fresco, 2018), mientras que, en 2018 ya había 13.300 MW (IRENA, 2019), un aumento del 59%. Por ello, vemos que, aunque su implantación no está siendo tan rápida como la de otras fuentes renovables (que presentaban un 25% de crecimiento anual), sí que podemos decir que su crecimiento es notable y constante desde los últimos 40 años, habiendo un notable incremento en los últimos 15 años.

Siguiendo el esquema tectónico antes propuesto, vemos que se cumple lo dicho, Estados Unidos es el mayor productor geotérmico del globo. Su principal planta y, la más grande del mundo (con 1.517 MW de potencia instalada), esta está situada en una de las zonas mencionadas con actividad sísmica, al este del Pacífico, concretamente en California. Lo más destacable es que esta planta, llamada The Geysers, lleva funcionando desde los años 60 (Calpine Corporation, 2019). Existen pocos países que utilicen la energía geotérmica para la generación de electricidad, destacan los países en vías de desarrollo, situados en zonas de alta tectónica, en éstos, la generación de electricidad a partir de fuentes geotérmicas puede suponer un alto porcentaje de la energía total generada por el país.

Filipinas	16,2%
Nicaragua	17,0%
El Salvador	15,4%
Islandia	13,0%
Costa Rica	7,8%
Kenia	5,3%
Nueva Zelanda	5,1%
Indonesia	3,0%

Figura 6: La geotermia en el mundo. IGME.

Por último y con respecto a la tecnología empleada, esta no es la que está limitando el proceso de implantación de esta fuente. Así, según expertos japoneses, con la tecnología actual la capacidad podría llegar a ser de 240.000 MW de potencia instalada para 2050, 18 veces más que las últimas cifras (Africa-EU Renewable Energy Cooperation Programme, 2018). Esto hace que esta fuente de energía se posicione como fundamental de cara al futuro; sobre todo en aquellos numerosos países con actividad tectónica que aún no tienen tan siquiera desarrollado un plan para la implantación de la misma.

4.4.2 Energía mareomotriz y undimotriz

Cuando hablamos de energía mareomotriz y undimotriz, debemos puntualizar que nos referimos a dos de las múltiples energías marinas que nos encontramos en la actualidad, nos centraremos en ellas al ser las únicas que presentan avances prometedores. La primera, es la energía que se obtiene de los movimientos naturales de las aguas de mares y océanos (Australian Renewable Energy Agency [ARENA], 2019). La destacamos puesto que es la única que presenta cierta implantación global, el uso del resto se encuentra en estado primigenio. Actualmente, tan solo ocho países en el mundo desarrollan el uso de esta energía y es de las renovables mencionadas, la que menor implantación tiene a nivel global, con tan solo 532 MW de potencia instalada en 2018 (IRENA, 2019). Actualmente, las centrales mareomotrices más comunes son las de dique. Estas existen desde los años sesenta, y son fundamentalmente las que logran la potencia instalada mencionada (Fresco, 2018). Tienen en mi opinión serias desventajas que harán que no trascienda demasiado en el futuro. Requieren por un lado condiciones orográficas

concretas para su construcción, además de tener un coste muy elevado. Por otro lado, su impacto ambiental y visual es tal, que solo se puede construir en aquellos lugares en los que los riesgos de inundación, justifican una construcción de este calibre. En el resto de los lugares, sus costes son tan elevados que a no ser que la orografía ayude no compensaría construirla (al existir un número elevado de mejores alternativas).

La segunda, la undimotriz es aquella que aprovecha las olas creadas por el viento para generar energía (Ocean Energy Europe [OEE], 2017). La destacamos puesto que se está investigando mucho sobre ella, a pesar de que su implantación a nivel comercial no es actualmente viable.

Aun así, las proyecciones de cara al futuro de ambas fuentes de energía son bastante optimistas, el agua ocupa el 70% de la superficie de nuestro planeta así que, una vez se crea un sistema para aprovechar las corrientes de los ríos, ¿porque no crear uno que permita aprovechar los movimientos de los océanos? A nivel de investigación se estima en la actualidad, que para el año 2050, la energía mareomotriz y undimotriz podrían generar alrededor de 337 mil MW de energía (OEE, 2017). Es por ello por lo que gran parte de las investigaciones en renovables se están centrando en esta fuente.

Por tanto, como vemos, la energía marina es una fuente prometedora, pero vemos que demanda innovaciones urgentes que reduzcan tanto el impacto ambiental de sus construcciones, como su coste. A la vez deberían de aumentar la eficiencia de esta fuente de energía ya que, siendo el agua 800 veces más densa que el viento, actualmente la energía eólica sigue siendo más productiva en términos relativos.

4.4.3 Biomasa, biocombustibles y biogás:

Lo primero que debemos hacer es distinguir cada uno de estos conceptos. El primero, la biomasa, aunque es un término que hoy en día se utiliza para denominar un amplio número de residuos procedentes de materia orgánica, cuando nos referimos a centrales de biomasa, generalmente nos referimos a aquellas que utilizan residuos agrícolas o plantas para la generación de energía. Hoy en día se genera alrededor del dos por ciento de la electricidad mundial con biomasa (Gasca y Salinas, 2009). Destaca el ejemplo de Finlandia, que se considera el principal precursor de esta fuente de energía. Así poseen siete de las diez centrales de biomasa más grande del mundo y generan alrededor del 18% de la electricidad del país con esta fuente de energía (IEA, 2018).

Los biocombustibles por otro lado, son un producto derivado de la biomasa cuya diferencia fundamental con la misma es que se pueden utilizar como combustible en un motor de combustión interna, lo que hace que su atractivo como posible alternativa a los combustibles fósiles crezca. Su invención no es algo nuevo, incluso el propio Ford creó un modelo de coche que operaba con este combustible (US Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2019). El principal problema de la utilización de éstos es que muchos son alimentos primarios y su implantación elevaría el precio a nivel global. En cambio, los biocombustibles de segunda generación no tendrían este problema, al no ser utilizados para la alimentación humana (Gasca y Salinas, 2009). El problema actual de éstos últimos es que su rendimiento no es muy alto, muchos apenas generan mucha más energía de la que requieren para conseguirlos.

El principal problema que dificulta y dificultará a largo plazo la imposición de los biocombustibles sobre los fósiles, es que su escaso rendimiento en cuanto a generación de energía se refiere, hace que se requiera gran cantidad de materia prima.

Por último, el biogás, se produce al descomponerse los restos de los animales o el estiércol. La captación del gas de granjas de ganado avícola, porcino y vacuno podría llegar a ser una buena herramienta para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Environmental Protection Agency [EPA], 2019). En Asia, el uso en granjas de residuos para la generación de biogás y posterior generación de electricidad suele ser muy popular, aunque su uso está decayendo en los últimos años (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific [ESCAP], 2017). El uso de biogás en el mundo, sin embargo, es muy limitado. Aunque es cierto que su uso se está haciendo cada vez más popular, como por ejemplo en Europa, que se ha incrementado por cinco en los últimos años, todavía solo generan alrededor del 0,2% de la energía primaria mundial y con un total de 17.692 MW de potencia instalada en todo el mundo como nos dejan ver los datos oficiales (IRENA, 2019). Sin embargo, las perspectivas de su uso a largo plazo son muy buenas, ya que además de ser una fuente de energía renovable, su utilización reduce los residuos en el medioambiente, por ello vemos que su crecimiento, aunque no muy pronunciado sigue una tendencia progresiva desde los últimos 15 años (IRENA, 2018). Por tanto, puede que lo principal con respecto a esta fuente de energía sea probablemente encontrar avances que ayuden a su mejor aprovechamiento.

5. LOS PRINCIPALES ESCOLLOS A LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

Una vez sentadas las bases de cada una de las fuentes renovables más prometedoras de la actualidad, hemos visto que gran parte de ellas presentan importantes avances que nos parecen indicar que ya podría ser posible realizar un mix 100% renovable en cualquier país. Lo cierto es que como veremos ahora, hoy en día ya hay ciertos países que generan prácticamente todo el año el 100% de la energía con renovables. En general, veremos que todos estos países se pueden beneficiar de la que sea probablemente la fuente de energía renovable actual más fiable, el agua.

Todos hemos visto, que el aprovechamiento a nivel general de tanto energía eólica, solar, hidráulica, geotérmica e incluso la biomasa ya es posible y, en este sentido, el total de los países están invirtiendo en éstas. Casi cualquier lugar del que hablemos hoy en día presenta un cierto mix con las renovables. Por ello, y en este sentido, ¿es correcto que todos los países desarrollen un plan similar de cambio a las renovables? Considero el centro de la cuestión radica en esta pregunta. El problema que tienen las fuentes de energías naturales es que no se encuentran distribuidas de forma uniforme por el globo, esto es evidente. Pero este hecho, va a hacer que la transición energética sea muy rápida en ciertos países y muy lenta en otros ¿Por qué? Hoy en día, podemos decir que las fuentes fundamentales de energía renovable que se están utilizando para producir energía en un país son fundamentalmente la energía solar, eólica e hidráulica. La que mayores ventajas presenta en la actualidad de manera, en mi opinión, muy pronunciada, son las procedentes del agua, ya que estas son las únicas que no se ven afectadas (casi nunca) por la intermitencia de los elementos naturales a la que están sometidas las otras dos.

Al principio del trabajo mencionamos en numerosas ocasiones que para que las energías renovables lograsen un éxito temprano y rotundo, se requerirían innovaciones en el desarrollo del almacenamiento de energía, las baterías. En este sentido, por este preciso motivo, la energía hidráulica esta tan por delante de las otras dos. Los embalses de agua, si lo pensamos, son lo más parecido a una batería que podemos tener en la actualidad, solo hace falta almacenar agua en la presa durante los periodos en los que utilizamos otra fuente de energía y, cuando esta escasee, recurrimos al agua. No existe ninguna batería en el mundo, capaz de almacenar la energía que genera el agua acumulada por una presa y este factor es fundamental, nos deja ver el estado de avance y la importancia relativa actual (y sobre todo contextual, ya que avances en baterías dejarían esta afirmación sin efecto) que tiene el agua con respecto al resto de energías renovables. Y es que, si nos fijamos en

las cifras de la energía global producida, este hecho se hace todavía más evidente (REN21, 2018):

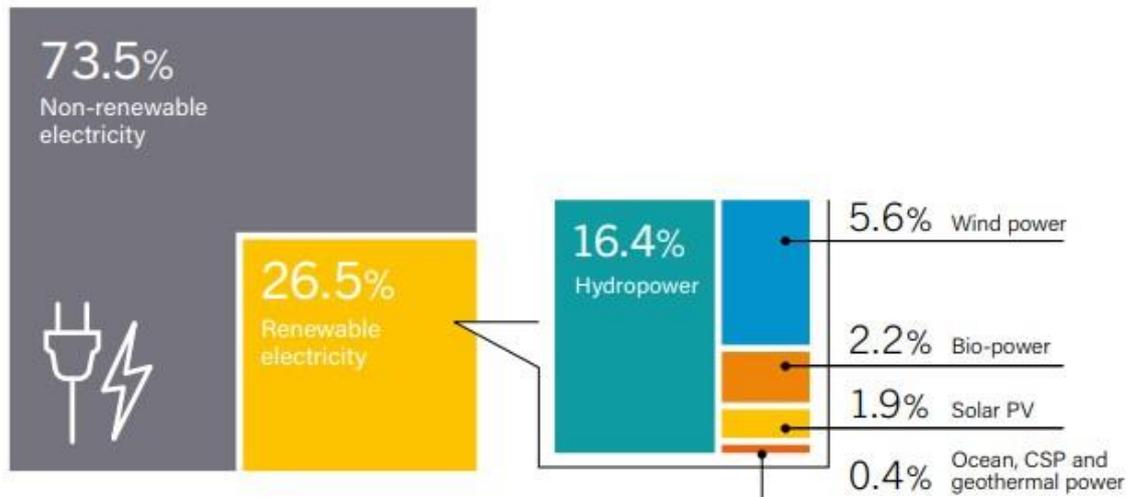


Figura 7: Renewables 2018: Global Status Report. REN21

Por tanto, vemos que aquellos países que presenten amplios recursos hídricos casi podrían hacer en la actualidad un cambio total a las renovables. ¿Cómo? Lo primero, es aprovechar los recursos hídricos, construyendo presas que permitan satisfacer el mayor porcentaje posible de demanda con el menor impacto ambiental posible. Por otro lado, el excedente de demanda a cubrir se podría satisfacer con la energía solar e hidráulica. Prácticamente como hemos visto, cualquier país tiene sol y viento, por tanto, aunque es cierto que en algunos será más propicio, todos se pueden beneficiar en mayor o menor medida de este. Además, si se tiene acceso a mar, se podría realizar una central mareomotriz o instalar aerogeneradores marítimos. De esta manera, las primeras fuentes de energía que se utilizarían para cubrir la demanda serían aquellas energías renovables intermitentes, es decir el sol y el viento (es por algo lógico, al no poder almacenarse, si no se usan se estaría desperdiciando energía gratuita). Si estas no permitiesen cubrir la demanda en su totalidad, se podría todavía recurrir a la energía hidráulica o incluso a la biomasa como hacen algunos países (Es el caso de Finlandia, con importantes recursos hídricos y un mercado en alza de biomasa). También, no podemos despreciar el uso de la energía geotérmica, ya que, en las zonas mencionadas con alta actividad sísmica, su implantación puede ser tan rentable y constante como una central hidroeléctrica. En este sentido, es indudable el papel de Islandia, que utiliza la energía geotérmica de los volcanes para generar alrededor del 65% de la energía primaria del país (REN21, 2018).

El problema, es que en la actualidad existen numerosas dificultades que hacen que este cambio absoluto a las renovables sea muy arriesgado para una economía. El primero, podría ser el que se da cuando estos países con alta dependencia de la capacidad hidráulica tienen periodos de sequía. En general, se suelen dar problemas bastante graves de abastecimiento de energía como hemos podido ver que sucedía en España en los últimos meses (Pérez, R., 2019), pero esto podría suplirse con fuentes de alternativas como hemos visto en España en años anteriores, donde el carbón jugaba un papel principal ante la escasa eficiencia de los embalses (Cerrillo, A., 2019), aunque con ciertas dificultades. El segundo y probablemente uno de los menos evidentes, es que, si nos ponemos en contexto en un país con el escenario mencionado, que reparte la generación de energía entre; solar, eólica e hidráulica. Al entrar a funcionar primero la eólica y la solar por lo explicado, habría muchas veces a lo largo del año, que estas dos fuentes de energía permitirían abastecer el total de la población, de hecho, habrá incluso momentos en los que con estas dos fuentes se genere mayor energía de la necesaria. Evidentemente, otras veces no será suficiente y se requerirá el respaldo de las centrales hidroeléctricas. Probablemente esto derive en que el coste de mantenimiento de estas grandísimas centrales será demasiado grande para simplemente utilizarla como un repuesto energético. Haciendo que no les compensase a las empresas de suministro eléctrico mantenerlas abiertas a no ser que cobrasen un precio exorbitante por la energía en esos periodos. Lo cierto es que en general los estudios que hay sobre estas situaciones suelen sobredimensionar el problema de la intermitencia de energía.

Lo que nos debemos preguntar es; ¿qué pasa con aquellos países que no tienen la suerte de poseer recursos hídricos tan importantes? Como nos demuestra lo visto, en estos países, la transición energética, a no ser que se den avances importantes en almacenamiento de energía, será mucho más lenta. Como vemos, debajo tenemos dos mapas, el de la izquierda representa el potencial hídrico de un país y el aprovechamiento efectivo de dicho potencial. A la derecha, volvemos a ver el mapa que mostramos al hablar de la energía geotérmica.

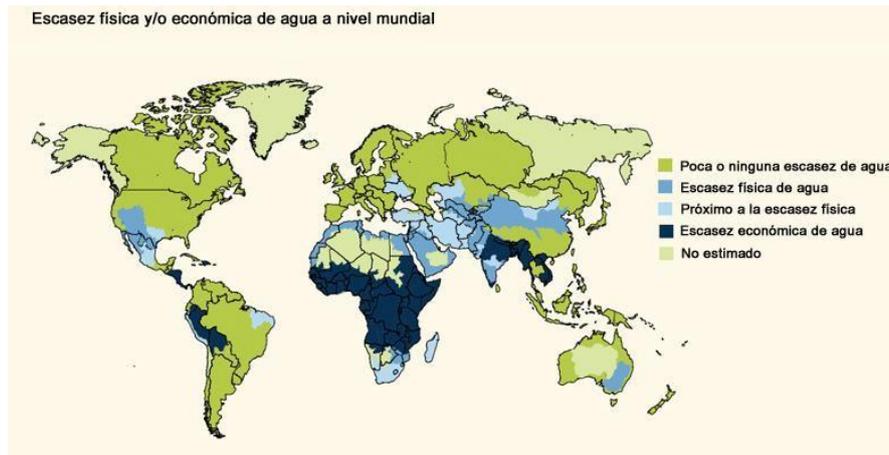


Figura 8: Estrés hídrico y escasez de agua. ONU- DAES

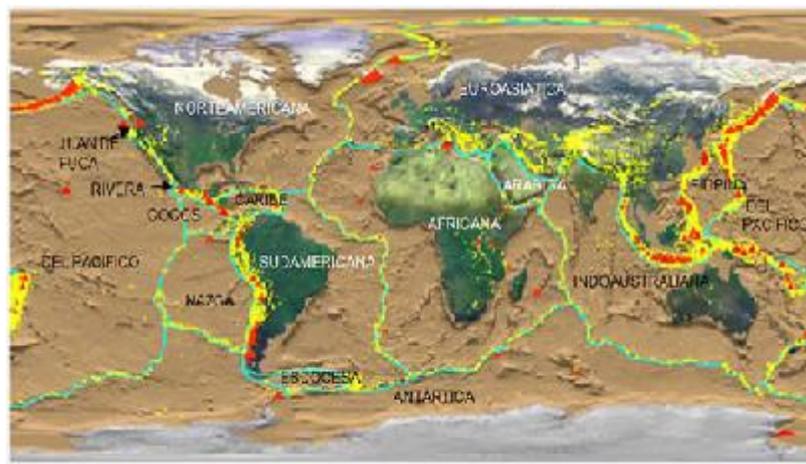


Figura 9: Tectónica de placas. Servicio Geológico Mexicano.

¿Qué sentido tiene ponerlos en conjunto? Para lograr hoy en día realizar un cambio absoluto hacia las renovables, debería de lograrse que aquellos países sin potencial hidroeléctrico lograsen suplir dicha escasez con una fuente alternativa. La energía geotérmica, al igual que la energía hidroeléctrica, produce energía de manera constante siempre que no se le someta a una sobreexplotación. En este sentido el problema es que, aunque es cierto que hay centrales geotérmicas con capacidades instaladas nada envidiables a las centrales hidroeléctricas (como la mencionada, The Geyser, en Estados Unidos), todavía siguen existiendo diferencias insalvables entre ambas, tanto en innovación como en tradición, que hace que los países que podrían realizar inversiones importantes en esta energía, prefieran esperar a que los avances faciliten su implantación. Aquí es donde tenemos que observar el mapa para entender el panorama actual y lo que pasará en los próximos años.

Por un lado, vemos que la principal escasez de recursos hídricos a nivel global se produce en el centro y sudoeste asiático, en el Norte de África, el sudoeste de Estados

Unidos y el oeste de Sudamérica (mapa). De esta forma si miramos el mapa de la derecha, veremos como las placas tectónicas se sitúan exactamente encima de estas zonas, exceptuando África. Esto en mi opinión nos indica por donde se moverá el desarrollo de las renovables en esta zona en los próximos años o, por lo menos, por donde debería moverse. En un principio, estos países del sudoeste asiático deberían empezar invirtiendo en aquellas renovables de las que puedan aprovecharse, primeramente, la eólica y la solar. Al mismo tiempo, debido a que las condiciones actuales demandan la reducción de emisiones de gases contaminantes, estos países invertirán en alternativas, principalmente energías limpias. Aquí es donde entra en juego la mencionada energía nuclear. Al existir evidentes carencias tanto en los combustibles fósiles (son muy contaminantes) como en la energía geotérmica, la energía nuclear parece la opción más sensata en la que invertir. En este sentido, como ya mencionamos, es evidente que la energía nuclear está volviendo a colocarse en un punto central en parte del globo, los expertos dicen que para el año 2050, esta suministrará el 25% de la energía global (IAEA, 2017) Así actualmente en el mundo se están construyendo 56 centrales nucleares de las cuáles 38, se sitúan en las zonas mencionadas de Asia, es evidente que saben lo que tienen que hacer (Farrás, 2018). Es decir, probablemente el auge que se dio en Europa en los años ochenta en relación a la energía nuclear, probablemente ahora se haya desplazado hacia Asia (Malagón, P., 2019) Volvemos a destacar el caso de Alemania, que siendo uno de los países centroeuropeos con mayores problemas en cuanto a recursos hídricos [incluso estudios demuestran que su fuente más importante de agua, el río Rin, se está secando (Schuetze, 2018)] siguen cerrando centrales nucleares. Además, como ya mencionamos antes, Europa no es una zona propicia para el aprovechamiento de la energía geotérmica.

Con respecto a África, existen muchas cuestiones a tener en cuenta. Por un lado, el continente en conjunto se dice que es rico en recursos naturales. El problema es que se encuentran mal distribuidos y generalmente desaprovechados; en gran parte esto ha sido generado por las potencias europeas (UNESCO, 2016). Lo primero que hay que notar es que, en la actualidad, la energía que necesita de media por habitante un país en África es muy inferior a la de cualquier país europeo (United Nations Environmental Programme [UNEP], 2017). Esto quiere decir que no se requeriría tanta potencia instalada en un primer momento para poder satisfacer las necesidades de demanda. El norte de África, por un lado, tiene un potencial solar como casi ningún otro territorio en todo el globo y, a la vez, es una de las regiones con más problemas de sequía del mundo (mapas). Por tanto,

vemos que, en esta zona, lo más conveniente sería que intentasen generar energía a través de la fuente solar. Marruecos en este sentido, ya tiene en funcionamiento una de las centrales solares más grandes que existen y sin ninguna duda, la energía renovable en la que más invierte es la solar, incrementando su capacidad anualmente desde que la tecnología es rentable (IRENA, 2019). Por otro lado, mientras que como hemos visto en unas zonas los recursos hídricos son escasos, en otras pasa todo lo contrario. Así países como la República Democrática del Congo o Etiopía tienen amplios recursos hídricos que ya están aprovechando con la construcción de centrales hidroeléctricas (UNEP, 2012). En general, las predicciones para este continente no son malas, cada año consigue aumentarse el acceso a la electricidad en una media de 50 millones de personas (González, 2019). Es un buen momento para que inviertan en energías renovables, ya que actualmente las últimas innovaciones, han permitido que el precio de las mismas caiga drásticamente, haciéndolas más accesibles.

Con respecto a España, hay que decir varias cosas. Por un lado, somos uno de los países del globo con mayor potencial tanto solar como eólico, al mismo tiempo, somos uno de los países con mayor estrés hídrico (Ferrer, T. 2017). Esto no quiere decir que nuestros recursos hídricos sean escasos, simplemente los utilizamos de una manera probablemente muy intensiva. Esto es un factor muy negativo que podría afectar al desarrollo de nuestros recursos naturales a largo plazo, sobre todo si tenemos en cuenta el potencial eólico y solar que presenta España. En este sentido, y como ya explicamos, España también explota su potencial eólico y solar. De esta manera, fuimos uno de los primeros países en dar acceso a la eólica a nuestra red eléctrica, aun cuando no era del todo rentable. Además, ésta cubrió casi el 20% de la energía consumida en 2018 (AEE, 2018) [un 23.1 % si atendemos a datos de la red eléctrica (REE, 2018)]. Por otro lado, la energía solar puede que sea un tema curioso en España, ya que con el auge de las placas solares años atrás, el gobierno intervino para regular de manera muy restrictiva un mercado que podría ser positivo para la economía española. En este sentido, el conocido como “impuesto al sol” reducía de una manera tan drástica las ventajas en la implantación de sistemas de aprovechamiento de este tipo de fuente de energía que lo único que se ha logrado con él es que la transición energética en España se haya visto frenada, con la consecuencia además de que se ha sometido a los recursos hídricos a una presión que no era para nada necesaria. En este sentido, es de destacar la derogación de esta ley el 5 de octubre del año pasado, durante el corto gobierno que disfrutó el PSOE antes de la

convocatoria de las elecciones generales de mayo (Europa Press, 2018). Así la tarea de España ahora mismo y en los próximos años, debería de centrarse en lograr la instalación de esta tecnología que ya cuenta con avances suficientes para ser productiva y barata.

5.1 La batería de litio

Aun así, todos estos factores mencionados en el apartado anterior, su imposición a una menor o mayor velocidad va a estar absolutamente condicionada por el estado de avance de las tecnologías, en concreto las baterías. A lo largo del trabajo, hemos mencionado en numerosas ocasiones la importancia que van a tener los avances en almacenamiento de energía para lograr una rápida transición energética. En este sentido, sigue sin existir una batería con capacidad suficiente para almacenar la energía necesaria para una ciudad de pequeño tamaño por un par de días, de hecho, la batería más grande del mundo, la encontramos en San Diego (Estados Unidos) con una capacidad instalada de 30 MW la cuál tan solo es capaz de abastecer unos 20.000 hogares durante alrededor de cuatro horas (aun así es muy útil puesto que se creó para evitar situaciones de desabastecimiento por consumo excesivo que se solían dar en épocas calurosas) (Díez, 2017). Este si lo observamos con detenimiento, es uno de los puntos clave para alcanzar una transición energética veloz.

Imaginemos. En caso de tener ya unas baterías como las que necesitamos, todos los países del mundo podrían realizar una transición energética por completo ¿Por qué? Por un hecho muy sencillo y que ya explicamos, porque se reduciría la incidencia de la aleatoriedad que una variable como el clima o la naturaleza impone en la generación de energía limpia. Dos de las energías que más avance presentan en el aprovechamiento de energía limpia son como sabemos la energía eólica y la energía solar, pero, ambas sufren las consecuencias del clima como ya hemos explicado. Al no almacenarse ésta, hay veces en que el conjunto de ambas no permite satisfacer la demanda por completo, de manera que otras fuentes de energía tienen que entrar a actuar (en aquellos países con capacidad hidroeléctrica los embalses y en aquellos países que no tienen esta capacidad, generalmente el carbón o el gas). De esta manera, también hay otras situaciones en las que estas fuentes de energía producen un excedente en la misma el cual se desperdicia debido a que no existen sistemas de almacenamiento de energía. Por ejemplo, por las noches, que además de ser más barata la energía, la demanda es mucho menor, sin embargo, las rachas de viento no se ven afectadas en exceso, aunque es cierto que este es menor, ya que la radiación solar como ya dijimos es una de las principales causantes del

viento. Dejando estas especialidades a un lado, son numerosas las ocasiones en que las energías renovables producen energía en exceso y son elevadas también, las situaciones en las que las energías renovables no son suficientes para satisfacer la demanda y, en este sentido es donde entra en juego el relevante papel de las baterías.

Concretamente las baterías de ion-litio, ya que son las que presentan mejores propiedades en todos los ámbitos con respecto al resto de baterías como las de plomo ácido. Su implantación a nivel comercial, a diferencia de las otras, es bastante reciente, con su comercialización por Sony en 1991. Entre sus ventajas encontramos, mayor densidad energética y voltaje, no tiene efecto memoria y tiene muy poca capacidad de auto descarga con el paso del tiempo (Casañ N. y Gómez R., 1996). Todo esto se debe a las propiedades del litio, que, aunque es un material bastante caro, es el elemento sólido más ligero que existe. De esta manera, este tipo de baterías se erigen como la mejor opción para lograr el tan ansiado almacenamiento de energía masivo.

Actualmente, ya existen baterías de litio tanto a nivel residencial como industrial. La empresa Tesla sin ningún tipo de duda es la que más está destacando en este campo. Aunque destacan las baterías integradas en sus famosos vehículos eléctricos, lo cierto es que a efectos de este trabajo debemos resaltar las baterías que emplean para satisfacer necesidades energéticas a una mayor escala. En este sentido, Tesla a creado dos tipos de batería, por un lado, para uso residencial (PowerWall) y, por otro para uso industrial (PowerPack). Lo cierto es que, aunque ambos productos consiguen entre otras, asegurar un flujo eléctrico constante (al permitir su uso en caso de apagón) y más barato (al almacenar la energía cuando es más barata y utilizarla cuando es más cara). Esto es lo que literalmente requeriría el sistema (la red eléctrica nacional) pero con una capacidad de almacenamiento mucho mayor ya que, el problema es que actualmente estas baterías solo tienen una potencia instalada de 50 kW, es decir 0,05 MW (Tesla, 2019).

Sin embargo, estas baterías desarrolladas por Tesla si observamos lo que conlleva, son absolutamente revolucionarias. En realidad, parece una idea simple, pero desarrollada brillantemente y además antes que nadie. De hecho, en el propio desarrollo de la idea, se tienen en cuenta los futuros avances que se pueda dar en esta tecnología, siendo un sistema formado por nódulos de batería (en un comienzo se instalan 16) permitiendo que éstos se vean ampliados en el futuro para generar mayor capacidad (Tesla, 2019). Las baterías son actualmente, una de las cuestiones en las que más se investiga a nivel tecnológico en la actualidad. Es un fenómeno que en parte se ha dado debido a la observancia general de la

posible sustitución de los vehículos fósiles por los vehículos eléctricos. Al haberse dado este fenómeno, de nuevo de la mano de Tesla (que de hecho compartió con la competencia los diseños y patentes para construir dicho vehículo), todas las empresas involucradas en el sector de la movilidad han comenzado a invertir en el desarrollo de baterías, lo que ha propiciado que su precio se vea disminuido y el sector del almacenamiento de energía impulsado. Las últimas predicciones de Bain & Company, una de las consultorías más importantes a nivel global, estiman que, de hecho, el almacenamiento masivo de energía será posible para 2025 (Critchlow y Denman, 2017). En este sentido ya existen proyectos para la construcción de la que sería la batería con mayor potencia instalada y capacidad de generación del mercado. Así, de nuevo Tesla, con la ayuda de Pacific Gas and Electric Company (PG&E) una de las compañías eléctricas más grandes de Estados Unidos, están desarrollando una batería con la capacidad instalada equivalente a más de 3.000 baterías Powerpack, con 182MW de potencia instalada (recordar que la segunda más grande actual es de 30 MW) (Lambert, 2018). Por ello, vemos que las predicciones sobre los avances en este sentido no están muy desencaminadas.

Por ello la transición energética, la velocidad a la que se produzca, es directamente proporcional a la velocidad a la que se den avances en este sector de la tecnología. Haciendo que el panorama de aprovechamiento energético a escala global cambie de manera considerable en caso de darse una u otra situación. Por ello si tuviéramos que aconsejar invertir o no en la actualidad en energías renovables, diría que es un gran momento, porque la inversión actual estará complementada con inversión futura. La primera fuente de energía renovable por su importancia y estado de innovación es la energía hidráulica. Sin embargo, si los avances en almacenamiento transcurren como se prevé, en menos de diez años esta situación cambiará, pasando a ser más rentable invertir en energía solar o eólica, al ser mucho menos costosa y con un impacto ambiental mucho menor.

6. CONCLUSIONES

En primer lugar, atendiendo a los objetivos expuestos, hemos realizado un análisis de cada una de las fuentes de energía actuales para comprobar que papel jugarán en la transición energética que se está dando. Hemos concluido, atendiendo a los datos expuestos, que la pérdida de mercado de las energías fósiles a favor de las energías renovables se está produciendo, lentamente, pero de manera efectiva. Vemos que existe una conciencia global, con ciertas excepciones hacia las energías renovables y vemos que el cambio se acabará produciendo casi sin ninguna duda. Esto no quiere decir que las predicciones de consumo de petróleo vayan a decaer, como vimos en el primer punto la caída en el uso proporcional del petróleo en el mercado (por ejemplo, con respecto a las renovables) sí que se va a dar. Sin embargo, dichas predicciones apuntan a que su consumo se incrementará un 1% anual, debido a varias razones, siendo la fundamental el incremento de la demanda.

La tecnología será uno de los factores fundamentales que favorecerá o perjudicará que esta transición se lleve en el menor tiempo posible. Esta tecnología se encuentra, como hemos podido ver, avanzando considerablemente en ciertas áreas de renovables, lo que además de propiciar un consumo energético saludable, propicia el abaratamiento de las mismas y las hace más accesibles a sectores de la población que hasta ahora no podían más que soñar con la electricidad (como hemos visto, cada año 50 millones de personas logran nuevo acceso a la electricidad en África y esto se debe en gran parte al abaratamiento de las renovables). Entrando en concreciones, probablemente las baterías son el factor fundamental que condicionarán este cambio.

Con respecto a las fuentes de energía. Como ya hemos visto actualmente la fuente de energía renovable que más avances y beneficios presenta por sus propias características físicas es probablemente la hidroeléctrica (como vimos las presas son baterías naturales a todos los efectos). Las baterías que antes mencionábamos serán fundamentales para dos energías renovables que actualmente ya presentan un amplio uso en el mercado, la energía solar y eólica; como ya hemos visto si se pudiera lograr su almacenamiento masivo podría sustituir a nivel comercial fuentes fósiles como el carbón, al permitir poder eliminar los efectos de la aleatoriedad del clima en un sistema que se satisface por demanda.

Para finalizar, en los lugares en los que la presencia del agua escasea y no permite su aprovechamiento masivo, hemos visto (exceptuando la zona de escasez en África, una de

las zonas con mayor potencial solar de la Tierra) la importancia de la energía geotérmica y la posibilidad de explotación si se producen los avances que demanda esta fuente de energía. Mientras tanto, hemos visto como los países de esta zona están empezando a invertir en energías nucleares (el boom asiático), como una manera limpia de suplir la escasez hídrica y desvincularse de la dependencia a los combustibles fósiles. Con respecto a esta, debería de ponerse acento a los aspectos contaminantes de la misma, ya que, aunque produce cero emisiones a la atmósfera (aspecto muy positivo para el cambio climático) tiene riesgos en su manipulación que como nos demuestra el pasado podrían llegar a ser catastróficos y producen ciertos residuos muy contaminantes que requieren un tratamiento extremadamente delicado.

La próxima revolución energética pretende transformar el mundo en los próximos años. Nos encontramos ante una situación, como hemos podido ver, compleja. La incertidumbre y los avances tardíos o prematuros podrían llegar a suponer escenarios a medio plazo muy diferentes. Hemos intentado exponer, a raíz de la información más veraz que logramos encontrar, cual podría llegar a ser el escenario futuro en lo que a abastecimiento energético se refiere. Por tanto, aunque se trata de un escenario lógico según los datos obtenidos, este no tiene por qué ser un escenario real. De esta manera y como hemos podido comprobar durante el trabajo, en ciertas ocasiones las políticas de los gobiernos no responden siempre a la lógica; dejándose en ocasiones guiar por diferentes intereses (recordemos el caso de Alemania con la energía nuclear o en España con el impuesto del sol). La solución está al alcance de los gobiernos interesados, soluciones que cada vez serán más accesibles. Está en la mano de éstos actuar conforme a la lógica o a sus propios intereses a corto plazo.

7. BIBLIOGRAFÍA:

Agencia Espacial Europea (ESA). (2003). *Technology Programmes*. Asociación

Australian Renewable Energy Agency. (ARENA). (2019). *What is ocean energy?*

Recuperado de <https://arena.gov.au/renewable-energy/ocean/>

Asociación Empresarial Eólica. (AEE). (2017). *Eólica 2017*

AEE. (2018). *La eólica en España*.

AEE. (2019). *Las cifras de la eólica en España*. Recuperado de <https://www.aeeolica.org/>

BBC Mundo. (25 de marzo de 2018). La Gran Represa del Renacimiento: el faraónico proyecto que se construye en el Nilo e inquieta a Egipto. *BBC*.

British Petroleum. (BP). (2019). *BP statistical review of world energy*.

BP. (2018). *BP statistical review of world energy*.

Calpine. (2019) About Geothermal Energy. Recuperado de

<http://geysers.com/geothermal>

Carbajosa, A. (14 de enero de 2018). La adicción al carbón ensucia la imagen de Alemania. *El país*.

Casañ, N. y Gómez, P. (abril de 1996). Baterías de litio: la alternativa al plomo y al cadmio. *Investigación y Ciencia*.

Cerrillo, A. (21 de Junio de 2019). La energía solar vuelve a brillar en España. *La Vanguardia*.

Cerrillo, A. (9 de diciembre de 2019). Greta Thumber:” La emergencia climática no es un problema futuro; nos afecta ya”. *La Vanguardia*.

Cervilla, P. (2 de febrero de 2017). La presión social obliga al Gobierno a cerrar la central nuclear de Garoña. *ABC*.

Chow, S. (1998). *Petroquímica y sociedad*. México: Fondo de Cultura Económica.

Constant, B. (1819). «*Sobre la libertad de los antiguos comparada con la de los modernos*». Discurso pronunciado en el Ateneo de París.

Criado, M.A. (6 de febrero de 2018). La capa de ozono sigue resquebrajándose. *El país*.

Critchlow, J. y Denman, A. (18 de octubre de 2017). *Embracing the Next Energy Revolution: Electricity Storage*. Bain and Company.

Díez, B. (13 de noviembre de 2017). Cómo es la batería de litio más grande del mundo y a cuántos hogares puede darles energía en Estados Unidos. *BBC News*.

Dreyer, J. (15 de diciembre de 2017). The Benefits and Drawbacks of Offshore Wind Farms. *Stanford University*.

Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. (ESCAP). (2017). *A Global Tracking Framework 2017 Regional Assessment Report*.

Energy Information Administration (EIA). (2014). *Hydropower supplies more than three-quarters of Brazil's electric power*.

EIA. (2019). Geothermal explained. Recuperado de <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal/geothermal-power-plants.php>

Europa Press. (5 de octubre de 2018). El Gobierno deroga el “impuesto al sol” y reconoce el derecho a autoconsumir sin peajes. *El Mundo*.

Europa Press. (20 de Octubre de 2019). España es líder en energía solar térmica, con 50 centrales que suman 2.300 MW.

European Commission. (2018). *Market study on ocean energy*.

European Commission. (2019). *Albania 2019 Report*

European Wind Energy Association. (EWEA). (2012). *Wind energy statistics and targets*.

EWEA. (2018). *Wind energy's frequently asked questions*. Recuperado de <http://www.ewea.org/wind-energy-basics/faq/>

Farrás, P. (2 de mayo de 2018). Centrales nucleares: ¿el principio de un fin o un nuevo comienzo? *La Vanguardia*.

Fernández-Cuesta, N. (12 de enero de 2019). Cierre Nuclear. *El Confidencial*.

Ferrer, T. (2 de abril de 2017). Agua para una economía cada vez más sedienta. *El País*.

Fondo Monetario Internacional. (FMI). (2019). *Informe anual del FMI 2019*

Fresco, P. (2018). *El futuro de la energía en 100 preguntas*. Madrid: Nowtilus.

Garí, R., García Breva, J. y Begoña, M. (2013). *Que hacemos por otra cultura energética*.

Tres Cantos: Akal.

Gasca, V. y Salinas, E. (2009). *Los biocombustibles*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad.

Global Solar Council. (2018). *Global market Outlook for solar energy 2018-2022*.

Global Wind Energy Council. (GWEC). (2010). *China wind energy outlook 2010*.

Recuperado de https://gwec.net/publications/country-reports/china_outlook/

GWEC. (2017). *Offshore wind*. Recuperado de <https://gwec.net/global-figures/global-offshore/>

GWEC. (2017). *Wind in numbers*. Recuperado de <https://gwec.net/global-figures/wind-in-numbers/>

GWEC. (2018). *Global wind report: annual market update 2017*.

GWEC. (2019). *Global Wind Report 2018*.

González, J. (20 de febrero de 2017). Las nucleares, clave de la transición energética. *ABC*.

González, N. (19 de febrero de 2019). África debe aprovechar el bajo coste de las renovables. *EFE Verde*.

Government of Canada. (2019). *Renewable energy facts*. Recuperado de <https://www.nrcan.gc.ca/science-data/data-analysis/energy-data-analysis/energy-facts/renewable-energy-facts/20069>

Greentumble. (2017). *The different types of solar energy*. Recuperado de <https://greentumble.com/the-different-types-of-solar-energy/>

International Energy Agency. (IEA). (2018). *Finland 2018 review*.

IEA. (2018). *World Energy Agency*.

IEA. (2019) *Renewables 2019, Analysis and forecast to 2024*.

IG Group. (2019). *Los 7 factores que afectan al precio del petróleo*. Recuperado de <https://www.ig.com/es/estrategias-de-trading/los-7-factores-que-afectan-el-precio-del-petroleo-190307>

IG Group. (2019). *Reunión de la OPEC*.

Instituto Geológico y Minero Español. (IGME). (2019). *La energía geotérmica*.

IGME. (2019). *Los recursos geotérmicos*. Recuperado de <https://www.igme.es/Geotermia/presentacion.htm>

Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía. (IDEA). (2011). *Plan de energías renovables 2011-2020*.

International Atomic Energy Agency. (IAEA). (2017). Nuclear power for a clean-energy future.

IAEA. (2019). *Country nuclear power profiles*. Germany. Recuperado de <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Germany/Germany.html>

IAEA. (2018). *Number of nuclear reactors by country and status*. Recuperado de <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryStatisticsLandingPage.aspx>

International Center for Integrated Water Resources Management. (ICIWaRM). (2017). *Pilot Study on Indicators for the World Water Assessment Programme*. Recuperado de <https://iciwarm.info/projects-3/>

International Hydropower Association. (IHA). (2018). *China Three Gorges Corporation*. Recuperado de <https://www.hydropower.org/companies/china-three-gorges-corporation>

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2012). *Renewable energy technologies: cost analysis series. Hydropower*

IRENA. (2017). *Electricity storage and renewables: costs and markets to 2030*.

IRENA. (2018). *Estadísticas de capacidad renovables 2018*.

IRENA. (2018). *Solar Power*. Recuperado de <https://www.irena.org/costs/Power-Generation-Costs/Solar-Power>

IRENA. (2019). *Estadísticas de capacidad renovables 2019*.

Jullien, M. (15 de noviembre de 2013). Can DR Congo's Inga dam project power Africa? *BBC*.

Krugman, P. (18 de octubre de 2018). Trump y los negacionistas del cambio climático. *New York Times*.

La energía del futuro hoy. (24 de enero de 2013). *Historia de la energía eólica*. Recuperado de <http://laenergiadelfuturohoy.blogspot.com/2013/01/historia-de-laenergia-eolica.html>.

Lambert, F. (29 de junio de 2018). Tesla and PG&E are working on a massive 'up to 1.1 GWh' Powerpack battery system. *Electrek*.

Llopis, G. y Rodrigo Angulo, V. (2007). *Guía de la energía geotérmica*. Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.

Malagón, P. (14 de diciembre de 2018). La demanda de uranio se dispara tras el creciente apoyo a la energía nuclear. *Libre Mercado*.

Molecular Diversity Preservation International. (MDPI). (2018). *An Overview of Hydropower Reservoirs in Brazil: Current Situation, Future Perspectives and Impacts of Climate Change*.

Molina, C. (29 de junio de 2018). Repsol entra en un mercado dominado por tres compañías. *El país*.

Montero, H. (14 de enero de 2019). La invisible revolución verde de Sánchez. *La razón*.

Moragues, J. y Rapallini, A. (2016). *Aspectos ambientales de la energía eólica*. Instituto Argentino de la Energía (IAE).

Naukas. (23 de junio de 2016). *Permíteme que insista: 77 años de advertencias sobre el cambio climático*.

Naukas. (24 de octubre de 2017). *Por qué necesitamos la energía nuclear*.

Observatorio Económico EEUU. (2011). *Análisis de las energías renovables*. BBVA research.

Ocean Energy System. (OEE). (2012). An international vision for ocean energy.

OEE. (2017). Ocean energy project spotlight: Investing in tidal and wave energy.

Office of Energy efficiency and Renewable Energy, U.S. (2017). *What's the Difference between Installed Capacity and Electricity Generation?*

Olzog, K. (2017) *Transición energética en el cambio climático: desarrollo y perspectivas para el futuro*. Twentysix.

Organización de Naciones Unidas. (ONU). (2019). *Cumbre sobre la acción climática ONU 2019*. Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/un-climate-summit-2019.shtml>

- ONU. (2019). *Sustainability and development goals*. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- Organización Internacional de Energía Atómica. (2019). *Database on Nuclear Power Reactors*.
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Diez cuestiones de salud que la OMS abordará este año*.
- Organization of the Petroleum Organization Countries. (OPEC). (2018). *Annual Statistical Bulletin*.
- Oxfam Intermon Media Briefing. (2019). *Injusticia climática: lo que contaminan los mas ricos y pagan los más vulnerables*.
- Pérez, R. (17 de septiembre de 2019). Se agrava la alerta por sequía en la «España verde» mientras la gota fría arruina al sur. *ABC*.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, artículo 15.4.
- Red Eléctrica de España (REE). (2018). *Estadísticas del Sistema Eléctrico*.
- REE. (12 de marzo de 2015). El proyecto Almacena de Red Eléctrica culmina satisfactoriamente su primer año en pruebas. *Sala de Prensa*.
- Renewable Energy World. (2012). *Solar hot water*. Recuperado de <https://www.renewableenergyworld.com/types-of-renewable-energy/what-is-solar-energy/solar-hot-water/>
- Reinoso, J. (5 de julio de 2012). El desastre de Fukushima fue “un error humano y pudo haberse evitado”. *El País*.
- Reinoso, J. (21 de mayo de 2006). El lamento de las Tres Gargantas. *El País*.
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2018). *Renewables 2018: Global Status Report*.
- Santamaría, P. (6 de mayo de 2019). Pueblos españoles que desaparecieron y que ahora puedes conocer. *ABC*.
- Schuetze, C. (7 de noviembre de 2018). El Rin, sustento de Alemania, se esta secando. *New York Times*.

Servicio Geológico Mexicano. (SGM). (2017). *Tectónica de placas*. Recuperado de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Tectonica-de-placas.html>

Servimedia. (15 de mayo de 2016) El 93% de la producción eléctrica de Iberdrola en España durante el primer trimestre estuvo libre de emisiones. *El confidencial*.

Shemetov, M. (18 de marzo de 2019). Putin inaugura las operaciones en dos centrales eléctricas durante su visita a Crimea. *Europa Press*.

SMA Solar Technology. (2019). *Quality factor for the PV plant*.

Sociedad Nuclear Española. (2016). *Vida útil de una central nuclear*.

Solar Energy Industries Association. (SEIA). (2018). *Solar Market Insight Report 2018 Year In Review*. Recuperado de <https://www.seia.org/research-resources/solar-market-insight-report-2018-year-review>

Solar World Congress. (SWC). (2019). *Technical tour to the Atacama Desert*. Recuperado de <https://www.swc2019.org/program/technical-tour.html>

Tesla. (2019). *Powerpack*. Recuperado de https://www.tesla.com/es_ES/powerpack.

Tesla. (2019). *Powerwall*. Recuperado de https://www.tesla.com/es_ES/powerwall.

The Organisation for Economic Co-operation and Development. (OECD). (2018). *Nuclear Energy Data*.

Tokio Electric Power Company Holdings. (TEPCO). (2019). *Kashiwazaki-Kariwa NPS Safety Measures*. Recuperado de <https://www7.tepco.co.jp/ourbusiness/nuclear/kashiwazaki-kariwa/index-e.html>

Turkenburg, W. (2017). *Renewable Energy. Alemania: Jürgen Schmid*.

OECD. (2013). *Nuclear Energy Data*.

Tomorrow. (2019). *Electricity Map*. Recuperado de <https://www.electricitymap.org/?page=map&solar=false&remote=true&wind=false> The

World Bank. (2017). *Mapping the world's wind energy potential (Global wind atlas)*.

World Bank. (2018). *Photovoltaic Power Potential*.

World Nuclear Association. (WNA). (2019). *Chernobyl Accident 1986*. Recuperado de <https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx>

- WNA. (2019). *Nuclear Power in Japan*. Recuperado de <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/japan-nuclear-power.aspx>
- WNA. (2019). *Number of nuclear reactors operable and under construction*. Recuperado de <https://www.world-nuclear.org/nuclear-basics/global-number-of-nuclear-reactors.asp>
- WNA. (2019). *Plans for new reactors worldwide*. Recuperado de <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/plans-for-new-reactors-worldwide.aspx>
- UNESCO. (2015). *Agua para un mundo sostenible: datos y cifras*.
- United Nations Environment Programme. (UNEP). (2011). *Water Issues in the Democratic Republic of the Congo*.
- UNEP. (2017). *Atlas of Africa energy resources*.
- U.S. Department of Energy Water Power. (2018). *2017 Hydropower Market Report*.
- U.S. Energy Information Administration. (EIA). (2019). *Types of wind turbines*. Recuperado de <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/types-of-wind-turbines.php>
- U.S. Environmental Protection Agency. (EPA). (2019). *Learning about biogas recovery*. Recuperado de <https://www.epa.gov/agstar/learning-about-biogas-recovery>
- U.S. Nuclear Regulatory Commission. (2019). *Capacity factor*.
- U.S. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. (2019). *Biofuels basics*. Recuperado de <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biofuels-basics>
- World Wind Energy Association. (WWEA). (2019). *Statistics*. Recuperado de <https://wwindea.org/information-2/information/>
- Villarino, A. (19 de diciembre de 2014). *La energía nuclear, la apuesta ecológica de Asia. El confidencial*.
- Yerguin, D. (1992). *La historia del petróleo*, Barcelona: Vergara.