

ESCUELA DE NEGOCIOS



UNIVERSIDAD
TORCUATO
DI TELLA

**“Argentina, Brasil y Uruguay como Polo para la
generación de Hidrógeno Verde”**

CURSO: MBA 2018

ALUMNO: MARTIN CEA GAGO

TUTOR: HERNAN MANFREDI

Buenos Aires, Argentina
Junio 2021

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia y Ale por su incondicionalidad.

A Seba y Juani por acompañarme desde Uruguay en este desafío

Al grupo MBA Intensivo 2018 que junto con los profesores y empleados de la Universidad Torcuato di Tella me permitieron tener una experiencia de aprendizaje, crecimiento personal y profesional única.

A Hernán por su apoyo en la “última milla”

RESUMEN

El Acuerdo de París logró que exista un consenso mundial respecto a la problemática que conlleva el Calentamiento Global y a los cambios estructurales y de paradigmas sobre las formas que consumimos, nos relacionamos y comportamos en pos de poder alcanzar un desarrollo sostenible.

Con el fin de afrontar la problemática, la ciencia se abocó a estudiar alternativas sustentables a los procesos productivos con los que tradicionalmente generamos energía, nos transportamos y producimos los alimentos o bienes que consumimos. Es aquí donde el Hidrógeno Verde, es decir aquel que es producido a partir de energía renovable, comenzó a ganar peso como sustituto de los derivados del petróleo dentro del Transporte y del Gas Natural dentro de la industria Química.

Este trabajo analizó el potencial que presentan Argentina, Brasil y Uruguay para desarrollar un Polo de generación de Hidrógeno en base a Energías Renovables No Convencionales. La investigación partió de un análisis sobre los conceptos de Calentamiento Global y GEI así como los sectores o industrias que más influyen en la generación de los mismos para que el lector dimensione el problema y la necesidad imperiosa de cambiar.

Se realizó un análisis de las distintas fuentes de Energía Renovables que se utilizan actualmente, muchas de las cuales tuvieron una expansión muy importante como alternativas sustentables en la generación de energía.

Por último se estudió el Hidrógeno, su historia, formas de producción, sus características y ventajas más destacables así como los desafíos que presentan para poder desarrollar el mismo.

Se concluye que si bien técnica y económicamente desarrollar el Hidrógeno Verde en conjunto entre los tres países sería muy ventajoso, no han existido propuestas del estilo por ninguno de los países que integran este análisis.

Pero más allá de que no pueda desarrollarse a nivel regional, la investigación validó que el Hidrógeno Verde cuenta con un impulso tanto desde la perspectiva de la demanda, con países como Alemania o Japón que en sus planes de desarrollo y descarbonización requieren más Hidrógeno Verde del que pueden generar. Así como también del lado de la oferta donde hay gran cantidad de países que han trazado hojas de ruta para el desarrollo del mismo. En la misma línea muchos organismos internacionales como la IEA así como también por el BM, se encuentran promoviendo y financiando proyectos de Hidrógeno Verde, como es el caso de Uruguay donde financia el plan piloto que está llevando adelante.

Palabras Claves: HIDRÓGENO VERDE, CALENTAMIENTO GLOBAL, ENERGÍA RENOVABLE.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos o Secundarios	10
Preguntas de Tesis	10
Tipo de Estudio.....	11
Descripción del Marco Teórico	11
Descripción del Marco Empírico.....	12
MARCO TEÓRICO.....	14
Capítulo I - Cambio Climático y generación de CO ₂	14
1.1 - Introducción.....	14
1.2 - Cambio Climático	14
1.3 – Gases de Efecto Invernadero	15
1.4 – Calentamiento Global.....	18
1.5 – Instrumentos para afrontar el Calentamiento Global	19
1.6 – Conclusiones del Capítulo	22
Capítulo II - Energías Renovables	23
2.1 - Introducción.....	23
2.2 – Historia de las distintas Fuentes de Energía	23
2.3 – Energía Renovable	27
2.3.1 – Energía Eólica	30
2.3.2 – Energía Solar.....	31
2.3.3 – Energía Hidráulica.....	36
2.3.4 – Otras fuentes de Generación de Energía Renovable	37
2.4 – Conclusiones del Capítulo	39
Capítulo III - Hidrógeno Verde	40
3.1 - Introducción.....	40
3.2 - Hidrógeno.....	40
3.3 – Historia del Hidrógeno	40
3.4 – Usos.....	42
3.5 – Producción	43

3.5.1 Electrólisis	44
3.5.2 Reformado de Vapor de Gas Natural	45
3.5.3 Gasificación del Carbón	47
3.5.4 Otras particularidades de su Producción	47
3.6 – Hidrógeno Verde.....	48
3.6.1 – Oportunidades en el Corto Plazo.....	50
3.6.2 – Desafíos en el Corto Plazo.....	52
3.7 – Conclusiones del Capítulo.....	54
Capítulo IV - Potencial de Recursos Renovables y Logística de los países del Mercosur ..	55
4.1 - Introducción.....	55
4.2 – Recursos Renovables Argentina	55
4.2.1 –Energía Eólica.....	56
4.2.2 –Energía Solar.....	57
4.2.3 – Interconexión	58
4.3 – Recursos Renovables Brasil	60
4.3.1 –Energía Eólica.....	60
4.3.2 –Energía Solar.....	63
4.3.3 – Interconexión	65
4.4 – Recursos Renovables Uruguay	66
4.4.1 –Energía Eólica.....	67
4.4.2 –Energía Solar.....	69
4.4.3 – Interconexión	70
4.5 – Logística Regional e Interconexión	71
4.6 – Conclusiones del Capítulo.....	73
MARCO EMPÍRICO.....	75
Herramienta I – Entrevistas a Referentes en la temática	76
Herramienta II - Entrevistas a Grupo Asesor del Gobierno Uruguayo en Materia de Hidrógeno Verde	82
CONCLUSIONES GENERALES.....	87
BIBLIOGRAFIA	95

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Generación de CO ₂ por Sector	16
Gráfico 2. Generación de CO ₂ dentro del Sector Energía y generación de Calor	17
Gráfico 3. Generación de CO ₂ dentro del Transporte	17
Gráfico 4. Porcentaje de Generación de CO ₂ dentro del Transporte	18
Gráfico 5. Consumo de Energía eléctrica (KWh per cápita)	23
Gráfico 6. Acceso a la electricidad (% de Población)	24
Gráfico 7. Energía generada por las distintas fuentes.....	26
Gráfico 8. Consumo de Energía Renovable (% del consumo de Energía Final)	27
Gráfico 9 – Capacidad Instalada en el Mundo de tecnologías Renovables 2018.....	28
Gráfico 10 – Electricidad Generada en el Mundo de tecnologías Renovables 2018.....	28
Gráfico 11. Energía Eléctrica generada con recursos Eólicos en el Mundo	30
Gráfico 12. Energía Eléctrica generada con recursos Solar en el Mundo.....	32
Gráfico 13. Capacidad Instalada por año en (GW) de Energía Eólica y Solar	34
Gráfico 14. Comparación entre Energía Eólica y Solar por Costo de Instalación, Factor de Capacidad y LCOE	34
Gráfico 15. Energía Eléctrica generada con recursos Hidráulicos en el Mundo.....	36
Gráfico 16. Generación de Electricidad por Otras Fuentes Renovables en el Mundo	38
Gráfico 17. Cantidad de Países con Políticas de soporte para Desarrollo de H ₂ en 2018...48	48
Gráfico 18. Costo de generación de H ₂ en 2018 por cada fuente	49
Gráfico 19. Matriz Energética Argentina.....	58
Gráfico 20. Capacidad Instalada de Energía Renovables Onshore al 2019.....	61
Gráfico 21. Evolución esperada de la expansión de la fuente eólica en el escenario del desafío de expansión	63
Gráfico 22. Evolución esperada de la expansión de la fuente solar PV en el escenario del desafío de expansión.....	65
Gráfico 23 – Top 25 países en generación de energía eléctrica a partir de eólica y solar en 2018.....	67

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Accidente LZ Hidenburg	42
Imagen 2. Formas de Generación de H ₂	44
Imagen 3. Electrólisis.....	44
Imagen 4. Entradas y salidas del proceso de producción de hidrógeno mediante reformado de vapor.....	46
Imagen 5. Cadena de Valor de Hidrógeno Verde.....	51
Imagen 6. Mapa Eólico Argentino.....	56
Imagen 7. Mapa recurso Solar Argentino GHI (Global Horizontal Irradiation)	57
Imagen 8. Sistema Argentino de Interconexión	59
Imagen 9. Mapa Eólico Brasil (velocidad media anual a 100m)	62
Imagen 10. Áreas aptas para la instalación de plantas fotovoltaicas	64
Imagen 11. Mapa de Sistema de Transmisión Brasil.....	65
Imagen 12. Mapa de recuso Eólico Uruguay a 90m de altura	68
Imagen 13. Mapa de recuso Solar promedio anual en Uruguay.....	69
Imagen 14. Mapa de Sistema de Transmisión Uruguay	71
Imagen 15. Cuenca del Plata	79

INTRODUCCIÓN

A partir de la entrada en vigencia del Acuerdo de París, 195 países asumieron el compromiso de reducir de forma sustancial las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, limitando el aumento global de la temperatura en este siglo a 2 grados Celsius. Esto generó un impulso en el desarrollo de nuevas tecnologías más amigables con el medioambiente para de esta forma alcanzar el objetivo de un Desarrollo Sostenible. (United Nations, 2021).

Este trabajo abordará el análisis de la creación de un Polo de generación de Hidrógeno a partir de Energía Renovable No Convencional en tres de los países integrantes del Mercosur, Argentina, Brasil y Uruguay, que sea pionero en su desarrollo y comercialización.

El hidrógeno es un combustible, ligero y muy reactivo que se genera a partir de diversos procesos, en particular la electrólisis utiliza la corriente eléctrica para separar el hidrógeno del oxígeno que hay en el agua, por lo que, si esa electricidad se obtiene de fuentes renovables, produciremos energía sin emitir CO₂ a la atmósfera.

Esta manera, solo considerando producir el hidrógeno actualmente consumido a partir de fuentes renovables, se evitaría emitir 830 millones de toneladas anuales de CO₂ que se originan cuando este gas se produce a partir de combustibles fósiles (IEA, 2020). Asimismo, reemplazar todo el hidrógeno gris mundial significaría 3.000 TWh renovables adicionales al año —similar a la demanda eléctrica actual en Europa— (Iberdrola, 2020)

A su vez, el potencial de su uso como vector energético para descarbonizar otros sectores como el transporte y la industria ha despertado el interés en distintos países firmantes del Acuerdo de París, incluyéndolo en sus hojas de ruta para cumplir los compromisos de reducción de emisiones asumidos.

El uso de hidrógeno como combustible bajo en carbono está adquiriendo un papel cada vez más destacado en los debates mundiales sobre energía. En la Cumbre de Osaka en 2019, los líderes del G20 enfatizaron que las tecnologías de hidrógeno son críticas para permitir transiciones de energía limpia, como se destaca en el informe de la IEA “El futuro del hidrógeno”. Desde que Japón publicó su Estrategia Básica de Hidrógeno en 2017, otros gobiernos, incluidos más recientemente España, Alemania y los Países Bajos, así como la

Comisión Europea, han presentado estrategias y hojas de ruta para el hidrógeno, y se esperan más en los próximos meses. Se espera que los proyectos de electrólisis de agua que representan alrededor de 3 GW de capacidad se implementen para 2023, lo que representa aumentar más de 10 veces la capacidad instalada actual de menos de 200 MW. (Berkenwald, M. B., & Bermudez, J. M. B. 2020, 2 noviembre).

Son muchos los profesionales en Energía que sostienen que el camino a recorrer es a través del Hidrógeno verde, por citar algunos:

A) Esteban Albornoz un referente en la materia recalcó *“El Hidrógeno verde está llamado a ser el combustible del futuro”* (Albornoz, E. A., 2020, 17 noviembre)

B) Juan Carlos Jobet – Ministro de Energía de Chile *“El hidrógeno, el átomo compuesto por solo un protón y un electrón, es la sustancia más abundante del universo. También es el elemento más ligero y el más simple de la tabla periódica. Recientemente, se le ha prestado mucha atención por su rol potencial en la lucha contra el cambio climático. Específicamente, el interés en torno al hidrógeno se ha centrado en su capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores de la economía que son más difíciles de mitigar. ¿Será que el átomo más simple y pequeño podrá ser la clave para combatir el cambio climático, el desafío más grande y complejo?”* (Ministerio de Energía de Chile, 2020, noviembre)

Por otra parte como veremos en el desarrollo de la investigación los países que integran el análisis gozan de ventajas competitivas muy importantes respecto a otras regiones dado su gran potencial de recursos hídricos, eólicos y solares para poder generar hidrógeno a partir de estas fuentes, así como también aptitudes desde el punto de vista logístico para poder exportar el producto.

Es de vital importancia tener acceso a recursos hídricos tanto para la propia generación del Hidrógeno, como vimos anteriormente a través de la electrólisis, así como la disponibilidad de puertos oceánicos para poder realizar la exportación del producto una vez terminado el mismo.

En este sentido Argentina, Brasil y Uruguay conforman en total más de 11:471.492 km² (World Resources Institute, 2021) de costa sobre el Océano Atlántico con una gran infraestructura de puertos ya existentes así como el potencial de desarrollar otros en caso de ser necesarios.

Objetivo General

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis del potencial que presentan Argentina, Brasil y Uruguay para poder desarrollar en el mismo un Polo de generación de Hidrógeno en base a Energías Renovables No Convencionales.

Objetivos Específicos o Secundarios

Objetivo A – Entender que engloba el Cambio Climático, el Calentamiento Global y cuáles son los principales responsables de su generación

Objetivo B – Describir que son las Energías Renovables y Analizar la situación actual de las Energías Renovables No convencionales en Argentina, Brasil y Uruguay

Objetivo C - Describir el potencial del Hidrógeno Verde como estrategia para disminuir las emisiones de CO₂ y como el “combustible del futuro”.

Objetivo D - Identificar estrategias necesarias para poder desarrollar un polo de generación de Hidrógeno Verde en los países objetos de análisis.

Preguntas de Tesis

Pregunta de Tesis N°1 - ¿Qué es y para que se puede utilizar el Hidrógeno Verde?

Pregunta de Tesis N°2 - ¿Qué rol ocupará el desarrollo de Hidrógeno Verde frente al Calentamiento Global y las emisiones de CO₂?

Pregunta de Tesis N°3 - ¿Qué potencial tienen Argentina, Brasil y Uruguay para el desarrollo de un polo de generación de Hidrógeno Verde?

Pregunta de Tesis N°4 - ¿Qué cambios son necesarios para poder crear un polo de generación de Hidrógeno Verde en Argentina, Brasil y Uruguay con fines de exportación a países con alta demanda?

Tipo de Estudio

El presente trabajo es una investigación de tipo descriptiva que tiene como objetivo analizar el potencial de desarrollar un polo de generación de Hidrógeno Verde en tres de los países miembro del Mercosur: Argentina, Brasil y Uruguay. En una primera instancia estudiaremos las propiedades del Hidrógeno Verde respecto a otras tecnologías para reducir las emisiones de CO₂ y por lo tanto del calentamiento global. Luego de ello, avanzaremos en el análisis de los recursos naturales con que cuentan los países objeto de análisis para poder generar la energía necesaria para producir el Hidrógeno Verde. Este trabajo busca que el lector pueda comprender a cabalidad las oportunidades que presenta el “combustible del futuro” y la posibilidad que tienen estos países de ser pioneros en este desarrollo siendo marco de referencia para otras regiones.

Descripción del Marco Teórico

El Marco teórico está compuesto por cuatro capítulos:

Capítulo I – Cambio Climático y generación de CO₂

Este capítulo se aborda la definición del término Cambio Climático haciendo énfasis en el Calentamiento Global y la generación del mismo a través de los gases de efecto invernadero, en particular el CO₂. A su vez, realizará un análisis histórico de las organizaciones que se han trazado distintas estrategias con el fin de mitigar el calentamiento global, de forma de evitar los cambios climáticos drásticos que ya se observan y que se estima se acentuarán sino se actúa al respecto.

Capítulo II – Energías Renovables e Hidrógeno Verde

El capítulo describirá la génesis, situación actual y potencial a futuro de las distintas fuentes de Energía enfocándose luego en aquellas provenientes de fuentes Renovables No Convencionales las cuales servirán de materia prima básica para la generación de Hidrógeno Verde

Capítulo III – Hidrógeno Verde

Este capítulo introducirá al lector en la tecnología del Hidrógeno, en su uso a lo largo de la historia y en el potencial que presenta a futuro, si el mismo es generado a partir de fuentes de energía renovable, como vector energético para poder descarbonizar distintos sectores de la economía, destacándose principalmente el transporte y la industria química.

Capítulo IV – Potencial de Recursos Renovables y Logística de los países del Mercosur

Por último, el Capítulo IV analizará la disponibilidad de recursos naturales en la región para poder generar energía a partir de fuentes renovables no convencionales para producir Hidrógeno Verde, así como también sus cualidades logísticas para poder transportar el producto terminado.

Descripción del Marco Empírico

El marco empírico está compuesto por 2 herramientas:

Herramienta 1 – Entrevistas a 3 referentes internacionales del Sector Energético

Esta herramienta recopilará la opinión de 3 referentes del Sector Energético respecto a la generación de Hidrógeno Verde como forma de evitar la generación de CO₂, sus posibles aplicaciones y en última instancia las capacidades que poseen Argentina, Brasil y Uruguay para poder producir el mismo a gran escala.

Herramienta	Nombre	Posición	Motivo Selección
Entrevista 1	Ing/MBA Ramiro Martinez	Ingeniero de estrategia y nuevos negocios para grupo Aluar	Conocimientos en H2V y 10 años de experiencia en Energías Renovables en Argentina
Entrevista 2	Ing/MBA Federico Goldenberg	Consultor Infraestructura y Energía en BID	Conocimientos sobre ODS y 5 años de experiencia en Energías Renovables en Uruguay
Entrevista 3	Ing/MBA Alejandra Labandera	Asesora en Eficiencia Energética en SEG Ingeniería SA	Maestría en Energía, amplios conocimientos en la materia en la región

Herramienta II – Análisis de entrevista al Grupo Asesor del gobierno en materia de Hidrógeno Verde

Se desarrollará esta herramienta con el fin de realizar un análisis de las estrategias que persigue el gobierno de Uruguay respecto al Hidrógeno Verde, sus posibilidades de generación, etapas que se requieren transitar para poder generar Hidrógeno Verde en el país así como también sectores dentro del país que pudieran adoptar el consumo del mismo.

Herramienta	Nombre	Posición	Motivo Selección
Entrevista Grupo Asesor del Gobierno de Uruguay	Ing. Wilson Sierra	Director de Infraestructura y Tecnología en MIEM	Participación en procesos de incorporación de renovables en Uruguay desde 2008
	Ing. Martín Scarone	Asesor Energías Renovables en MIEM	Participantes del Grupo Asesor

MARCO TEÓRICO

Capítulo I - Cambio Climático y generación de CO₂

1.1 - Introducción

El propósito de este capítulo es informar al lector sobre el cambio climático y la problemática del calentamiento global así como las posibles soluciones que algunos países han encontrado a través de distintas organizaciones.

1.2 - Cambio Climático

La definición más general de cambio climático es un cambio en las propiedades estadísticas (principalmente su promedio y dispersión) del sistema climático considerado durante periodos largos de tiempo, independiente de la causa. Por consiguiente, las fluctuaciones durante periodos más cortos que unas cuantas décadas, como por ejemplo, no representan un cambio climático.

Un cambio climático se define como la variación en el estado del sistema climático terrestre, formado por la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera, que perdura durante periodos de tiempo suficientemente largos (décadas o más tiempo) hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Puede afectar tanto a los valores medios meteorológicos como a su variabilidad y extremos.

Los cambios climáticos han existido desde el inicio de la historia de la Tierra, han sido graduales o abruptos y se han debido a causas diversas, como las relacionadas con los cambios en los parámetros orbitales, variaciones de la radiación solar, la deriva continental, periodos de vulcanismo intenso, procesos bióticos o impactos de meteoritos. El cambio climático actual es antropogénico y se relaciona principalmente con la intensificación del efecto invernadero debido a las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles.

El concepto “cambio climático” se emplea usualmente para referir específicamente al causado por la actividad humana, en lugar de cambios en el clima que pueden haber resultado como parte de los procesos naturales de la Tierra. En este sentido, especialmente en el contexto de la política medioambiental, cambio climático se ha convertido en sinónimo de calentamiento global. En las publicaciones científicas, calentamiento global refiere al aumento de las temperaturas superficiales mientras que cambio climático incluye al calentamiento global y todos los demás efectos que el aumento de los niveles de gases de efecto invernadero produce. La Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, define al cambio climático en su artículo 1 párrafo segundo, como un cambio de clima atribuido directa e indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima observadas durante períodos de tiempos comparables. A veces se confunden los términos Cambio climático con Calentamiento global. (IPCC, 2021)

1.3 – Gases de Efecto Invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) se producen de manera natural y son esenciales para la supervivencia de los seres humanos y de millones de otros seres vivos ya que, al impedir que parte del calor del sol se propague hacia el espacio, hacen la Tierra habitable. Después de más de un siglo y medio de industrialización, deforestación y agricultura a gran escala, las cantidades de gases de efecto invernadero en la atmósfera se han incrementado en niveles nunca antes vistos en tres millones de años. A medida que la población, las economías y el nivel de vida, con el asociado incremento del consumo, crecen también lo hace el nivel acumulado de emisiones de ese tipo de gases.

Existen tres hechos en que los científicos inciden y que son de enorme utilidad para entender mejor la raíz y la escala del problema:

- la concentración de GEI en la atmósfera terrestre está directamente relacionada con la temperatura media mundial de la Tierra;
- esta concentración ha ido aumentando progresivamente desde la Revolución Industrial y, con ella, la temperatura del planeta;

- el GEI más abundante, alrededor de dos tercios de todos los tipos de GEI, es el dióxido de carbono (CO₂) que resulta de la quema de combustibles fósiles. (United Nations, 2021)

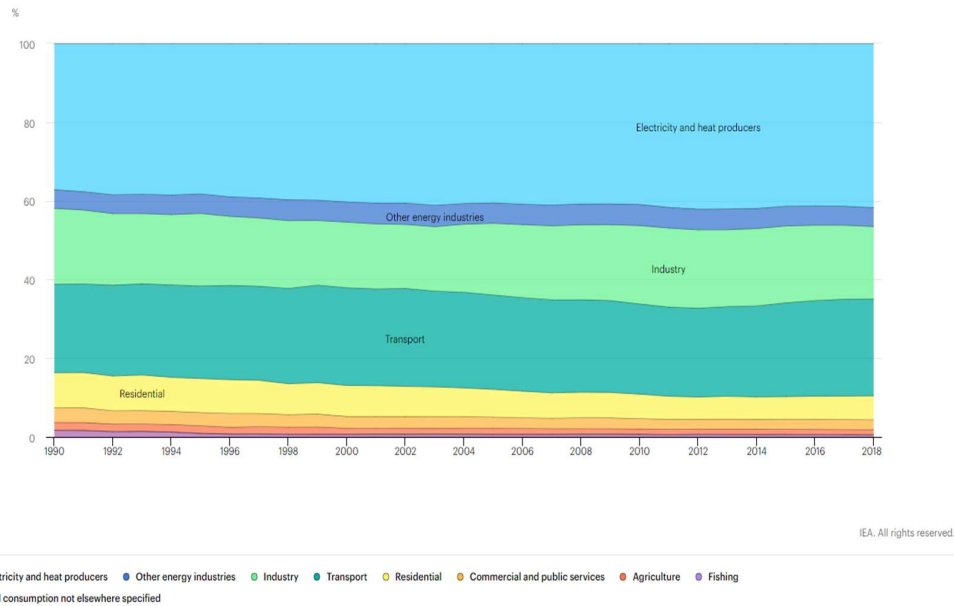


Gráfico 1. Generación de CO₂ por Sector - Fuente: IEA

En el gráfico 1 se puede ver como la industria, el transporte y la generación de electricidad y calor explican casi el 85% de la generación de CO₂ en el mundo por lo que es de suma importancia hacer énfasis en medidas enfocadas en esos sectores para poder reducir la cantidad de este gas en la atmósfera. En particular la generación de energía y calor son responsable de más del 40% de esas emisiones globales pero si analizamos a la interna de ese sector como se puede observar en el gráfico 2, el carbón representa en el entorno del 65/70% de las emisiones del sector por lo que cualquier medida que implique la sustitución de generación de energía a base de carbón por una fuente de energía renovable generaría impactos significativos en la reducción del CO₂.

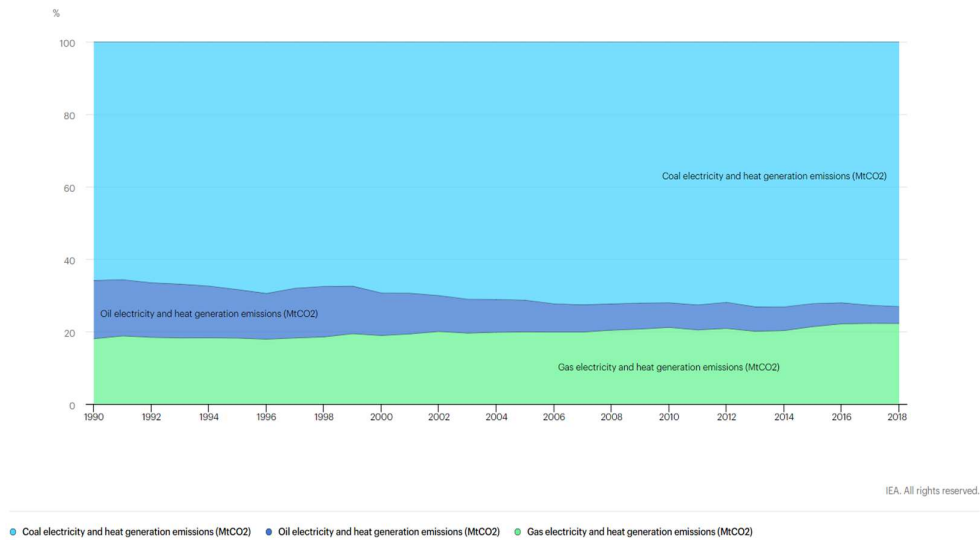


Gráfico 2. Generación de CO₂ dentro del Sector Energía y generación de Calor - Fuente: IEA

Resulta importante analizar también el sector del transporte ya que es el 2do más importante en cuanto a generación de CO₂ y a su vez resulta ser el sector en el cual la sumatoria de las decisiones individuales de los individuos y empresas del transporte podría impactar en la aceleración de la descarbonización del mismo.

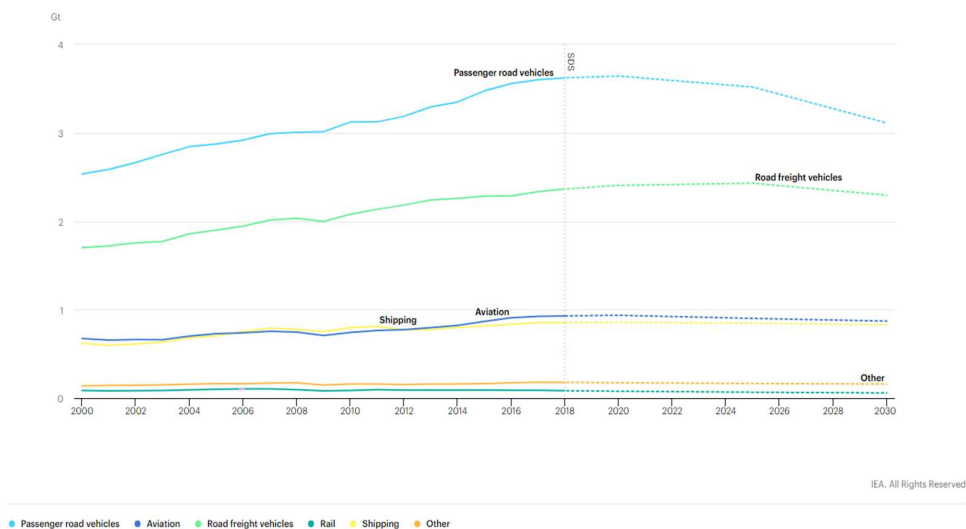


Gráfico 3. Generación de CO₂ dentro del Transporte - Fuente: IEA

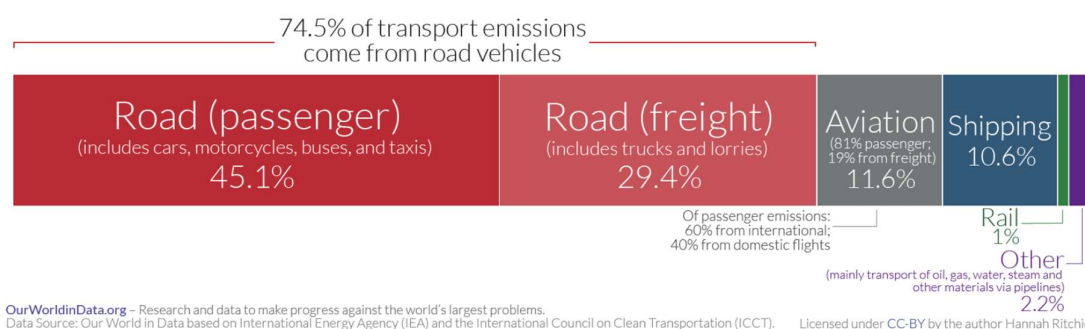


Gráfico 4. % de Generación de CO₂ dentro del Transporte - Fuente: Our World Data

De los gráficos 3 y 4 se puede inferir que el 74,5% de las emisiones del sector del transporte provienen de transporte de pasajeros y traslados de mercadería por lo que soluciones como vehículos eléctricos o porque no vehículos impulsados a hidrógeno serían una solución para este sector siempre y cuando la energía utilizada para alimentar esos vehículos provenga de fuentes renovables.

1.4 – Calentamiento Global

Hasta aquí podemos decir que el Calentamiento Global forma parte de un Cambio Climático pero que tiene la particularidad de que el mismo se ha generado a partir de diversas actividades humanas que se han desarrollado a lo largo de la historia. El resultado de esas actividades son niveles de CO₂ (uno de los GEI más abundante) nunca antes visto en la historia. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU (IPCC por sus siglas en inglés) en su Quinto Informe de Evaluación realizado en 2014 concluye y proyecta respecto al calentamiento global lo siguiente:

- “de 1880 a 2012 la temperatura media mundial aumentó 0,85 °C;
- los océanos se han calentado, las cantidades de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar ha subido. De 1901 a 2010 el nivel medio mundial del mar ascendió 19 cm, ya que los océanos se expandieron debido al hielo derretido por el calentamiento. La extensión del hielo marino en el Ártico ha disminuido en cada década desde 1979, con una pérdida de $1,07 \times 10^6$ km² de hielo cada diez años;

- *debido a la concentración actual y a las continuas emisiones de gases de efecto invernadero, es probable que el final de este siglo la temperatura media mundial continúe creciendo por encima del nivel preindustrial. Como resultado, los océanos se calentarán y el deshielo continuará. Se estima que el aumento del nivel medio del mar será de entre 24 y 30 centímetros para 2065 y de 40 a 63 centímetros para 2100 en relación al periodo de referencia de 1986-2005. La mayoría de los efectos del cambio climático persistirán durante muchos siglos, incluso si se detienen las emisiones” Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2013).*

El deshielo de glaciares y por consiguiente el aumento del nivel del mar provocará numerosos desplazamientos de población de hecho ya en la actualidad el Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados (ACNUR) ha implementado el término “Refugiado Climático” o “Desplazado Ambiental” en aquellas personas desplazadas de sus hogares por razones climáticas.

También se están observando y se observarán condiciones meteorológicas más extremas, como ser tormentas más grandes e intensas junto con épocas de grandes lluvias seguidas de sequías más prolongadas e intensas.

1.5 – Instrumentos para afrontar el Calentamiento Global

En 1988 fue creado El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.

Pero fue la Organización de Naciones Unidas la encargada de afrontar el desafío de mitigar los efectos del Calentamiento Global, en una primera instancia concientizando sobre la existencia de la problemática y luego en el trazado de planes de acción.

Fue de esa forma que en 1992 la Cumbre para la Tierra dio lugar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como primer paso para afrontar este enorme problema, actualmente un total de 197 países han ratificado la Convención.

Luego de esto el 11 de diciembre de 1997 fue aprobado el Protocolo de Kyoto, actualmente hay 192 Partes. El Protocolo pone en funcionamiento la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático comprometiéndolo a los países industrializados a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de conformidad con las metas individuales acordadas. La propia Convención sólo pide a esos países que adopten políticas y medidas de mitigación y que informen periódicamente. Sólo vincula a los países desarrollados y les impone una carga más pesada en virtud del principio de "responsabilidad común pero diferenciada y capacidades respectivas", porque reconoce que son los principales responsables de los actuales altos niveles de emisiones de GEI en la atmósfera. (United Nations, 2021)

En 2012 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible celebrada en Río de Janeiro se gestaron Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El propósito era crear un conjunto de objetivos mundiales relacionados con los desafíos ambientales, políticos y económicos con que se enfrenta nuestro mundo.

Los ODS sustituyen a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), con los que se emprendió en 2000 una iniciativa mundial para abordar la indignidad de la pobreza. Los ODM eran objetivos medibles acordados universalmente para hacer frente a la pobreza extrema y el hambre, prevenir las enfermedades mortales y ampliar la enseñanza primaria a todos los niños, entre otras prioridades del desarrollo.

Durante 15 años los ODM impulsaron el progreso en varias esferas importantes: reducir la pobreza económica, suministrar acceso al agua y el saneamiento tan necesarios, disminuir la mortalidad infantil y mejorar de manera importante la salud materna. También iniciaron un movimiento mundial destinado a la educación primaria universal, inspirando a los países a invertir en sus generaciones futuras. Los ODM lograron enormes

avances en la lucha contra el VIH/SIDA y otras enfermedades tratables, como la malaria y la tuberculosis.

Los ODS a diferencia de los ODM agregan a la mejora de la calidad de las personas y acceso a las necesidades básicas de estas un llamado urgente para que el mundo haga la transición a una senda más sostenible. (United Nations, 2021)

Los ODS constan de 17 Objetivos y 169 metas propuestos como continuación de los ODM que están interrelacionados, lo que significa que el éxito de uno afecta el de otros. Responder a la amenaza del cambio climático repercute en la forma en que gestionamos nuestros frágiles recursos naturales. Lograr la igualdad de género o mejorar la salud ayuda a erradicar la pobreza; y fomentar la paz y sociedades inclusivas reducirá las desigualdades y contribuirá a que prosperen las economías.

Los ODS coincidieron con otro acuerdo histórico celebrado en 2015, el Acuerdo de París aprobado en la Conferencia sobre el Cambio Climático (COP21). Junto con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, firmado en el Japón en marzo de 2015, estos acuerdos proveen un conjunto de normas comunes y metas viables para reducir las emisiones de carbono, gestionar los riesgos del cambio climático y los desastres naturales, y reconstruir después de una crisis.

Los ODS son especiales por cuanto abarcan las cuestiones que nos afectan a todos. Reafirman nuestro compromiso internacional de poner fin a la pobreza de forma permanente en todas partes. Son ambiciosos, pues su meta es que nadie quede atrás. Lo que es más importante, nos invitan a todos a crear un planeta más sostenible, seguro y próspero para la humanidad.

En la 21ª Conferencia de París de 2015 se alcanzó un acuerdo histórico con el conocido Acuerdo de París el cual agrupa a todas las naciones del mundo, por primera vez en la historia, bajo una causa común: realizar ambiciosos esfuerzos con el objetivo de combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos. De esta manera, define una nueva ruta en los esfuerzos mundiales para frenar el cambio climático.

1.6 – Conclusiones del Capítulo

Hoy en día es cotidiano para gran parte de la población la problemática de la generación de GEI y en particular de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y las consecuencias de estas resumidas en un concepto, Calentamiento Global. Pero más allá de que se haya masificado la problemática y los esfuerzos hasta ahora sin resultados contundentes de distintas Organizaciones como ser la ONU o la IPCC es necesario un cambio sustancial hacia la sostenibilidad de la vida.

Cada vez más la población tiene la posibilidad de ejercer presiones sobre legisladores, industrias o marcas para que desarrollen productos o se adapten a prácticas acordes a los ODS. Es por esto que decisiones pequeñas como elegir un vehículo eléctrico por sobre uno a combustión o consumir los productos de una empresa en función de que un porcentaje importante de su energía consumida provenga de fuentes renovables pueden hacer grandes cambios. En este sentido viene tomando fuerza desde hace un tiempo las empresas conocidas como B las cuales más allá de perseguir un fin económico buscan también dar respuestas a problemas sociales y/o medioambientales del lugar donde están insertas.

Capítulo II - Energías Renovables

2.1 - Introducción

El objetivo de este capítulo es informar al lector sobre las distintas tecnologías utilizadas para generar energía a partir de recursos renovables, cómo ha sido su génesis y evolución a lo largo del tiempo. Junto con ello se abordará el potencial que presenta la producción de Hidrógeno a partir de fuentes de energía generada por recursos renovables como forma de mitigar la generación de CO₂ y por tanto disminuir el calentamiento global.

2.2 – Historia de las distintas Fuentes de Energía

El consumo de energía y el acceso que pueda tener una comunidad siempre han sido uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. Es por ello que la humanidad en su conjunto siempre se ha preocupado por contar con la mayor cantidad de fuentes de energía posible así como accesibilidad a la misma para sus comunidades. Esto queda en evidencia particularmente con los aumentos que se producen año a año en el consumo de energía eléctrica a nivel mundial (solamente detenida por la crisis sanitaria producida por el Covid – 19 y las medidas de “lockdown” aplicadas prácticamente a nivel mundial) que se pueden observar en el gráfico 5 a continuación así como también en el gráfico 6 como se ha acrecentado considerablemente el acceso a la electricidad a nivel mundial.

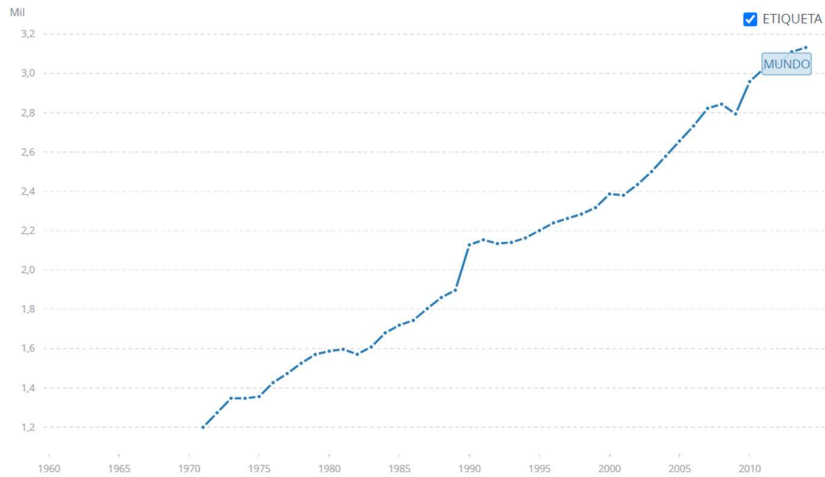


Gráfico 5. Consumo de Energía eléctrica (KWh per cápita) - Fuente: Banco Mundial



Gráfico 6. Acceso a la electricidad (% de Población) - Fuente: Banco Mundial

A lo largo de la historia el hombre exploró distintas fuentes para generar energía, probablemente la primer fuente de energía fue la tracción animal producto de la domesticación y aplicada para traslados de materiales o herramienta, luego el fuego producido a partir de la madera. Posteriormente y producto de los avances en la tecnología sobre finales del siglo XVIII la extracción y la utilización del carbón junto con la invención de la máquina a vapor por parte de James Watt forjó que se produjera la primer revolución industrial del mundo en Gran Bretaña. Esto generó el desarrollo de barcos y ferrocarriles a

vapor así como el desarrollo en la segunda mitad del XIX del motor de combustión interna y la energía eléctrica, supusieron un progreso tecnológico sin precedentes. (Taylor, G. R. (1989).

Es de destacar que el hombre también implementó recursos naturales renovables, sobre todo el agua y el viento como fuente de energía. Ya desde la antigüedad la fuerza del agua fue aprovechada para diversos usos, como moler grano o triturar materiales con alto contenido en celulosa para la producción de papel, hecho que atestiguan los numerosos molinos de agua conservados en diferentes partes del mundo. De hecho son muchas las referencias que sostienen que la energía hidráulica jugó un papel preponderante en la génesis de revolución industrial cuando todavía el carbón era escaso y la madera poco eficiente. (Historia Energía Hidráulica, 2018) (Monográficos Hispagua, 2007). Por otro lado al igual que sucedió con el agua, el viento como fuerza motriz también fue utilizado desde la antigüedad, ha movido a barcos mediante el uso de velas o ha hecho funcionar la maquinaria de los molinos al mover sus aspas.

Otra de las fuentes de energía que el hombre exploró fue la generada a partir de la fusión y fisión del núcleo de un átomo, la energía nuclear. El 2 de diciembre de 1942 Enrico Fermi con su equipo crearon el 1er reactor nuclear del mundo logrando la reacción de fisión en cadena auto sostenida en la famosa Chicago Pile 1 (Foro Nuclear 2020, 2 junio).

Más allá de las distintas fuentes de energía vistas hasta el momento, es sin dudas el petróleo la principal fuente de energía consumida a nivel mundial a partir de que en el año 1859 Edwin Drake perforó en Pensilvania el primero pozo de petróleo “moderno” generando de esta forma la explosión de la “fiebre del petróleo” y dándole nacimiento a una de las industrias más poderosas del planeta comenzando a desplazar quien hasta el momento había sido la fuente de energía más importante, el carbón. (León, C. D. J. Y. 2021).

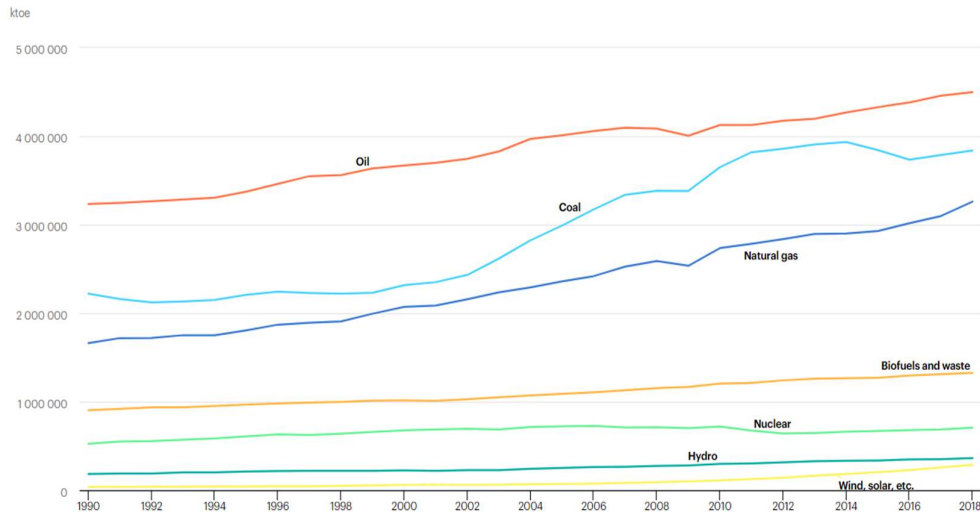


Gráfico 7. Energía generada por las distintas fuentes - Fuente: IEA

Hasta este punto queda en evidencia que la humanidad desarrolló y utilizó a lo largo del tiempo una gran variedad de recursos poder generar energía, pero la historia ha marcado que se han desarrollado con mayor facilidad y velocidad aquellas provenientes de fuentes naturales no renovables como el carbón, luego el petróleo y por último el gas. Es difícil de identificar cuáles fueron los factores que hicieron que estas fuentes no renovables predominaran por sobre las renovables pero sin dudas el lobby político, el peso de grandes compañías, la figura de Rockefeller, motores a combustión por sobre motores eléctrico y el hasta ese entonces abundante “oro negro” torcieron la balanza en esa dirección.

Pero no fue hasta que la primer crisis del petróleo sufrida en los años 70 y diversos eventos naturales (agujero de la capa de ozono, calentamiento global, falla de reactor nuclear en Chernóbil) que distintas organizaciones, gobiernos y científicos instalaron la discusión respecto a que más allá del fin económico perseguido a la hora de explotar una fuente de energía, también era necesario hacer énfasis en que el desarrollo que se produjera fuera sustentable y amigable con el medioambiente.

En este punto es importante destacar que no existe al día de hoy una fuente de energía que no tenga huella neutra de carbono en su producción, distribución o almacenaje. Pero las energías renovables reducen sustancialmente las emisiones de CO₂ en comparación con los combustibles fósiles. Es a partir de ese momento donde se comienza a expandir y desarrollar

de forma más importante las energías renovables, como se puede observar en el gráfico 8 a continuación.

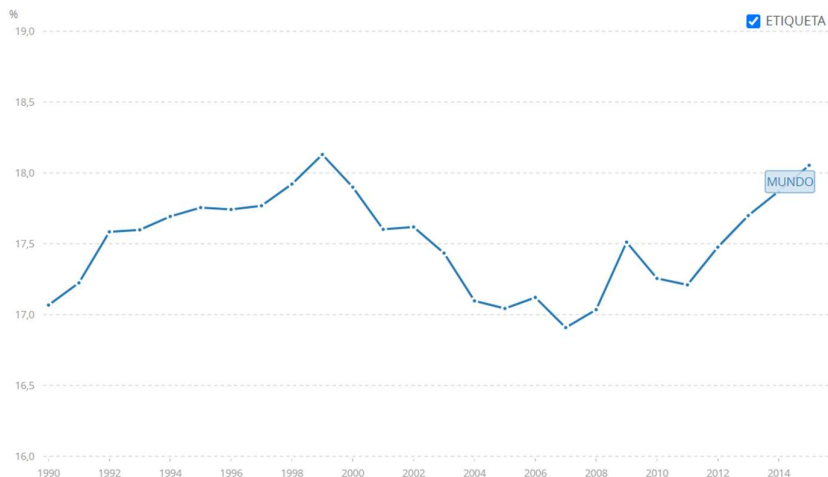


Gráfico 8. Consumo de Energía Renovable (% del consumo de Energía Final)- Fuente: Banco Mundial

2.3 – Energía Renovable

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene a partir de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales (Casas Úbeda, J. M. C. U., & Gea López, F. G. L. (s. f.), 2021).

Entre las energías renovables se cuentan la energía eólica, la geotérmica, la hidroeléctrica, la mareomotriz, la solar, la undimotriz, la biomasa y los biocarburantes. Si bien estas fuentes de energía renovables cumplen con uno de los principales objetivos perseguidos por el Acuerdo de París en cuanto a que reducen de CO₂ emitido, cada una de ellas presenta diferentes impactos en la fauna y medioambiente en el cual se instalan.

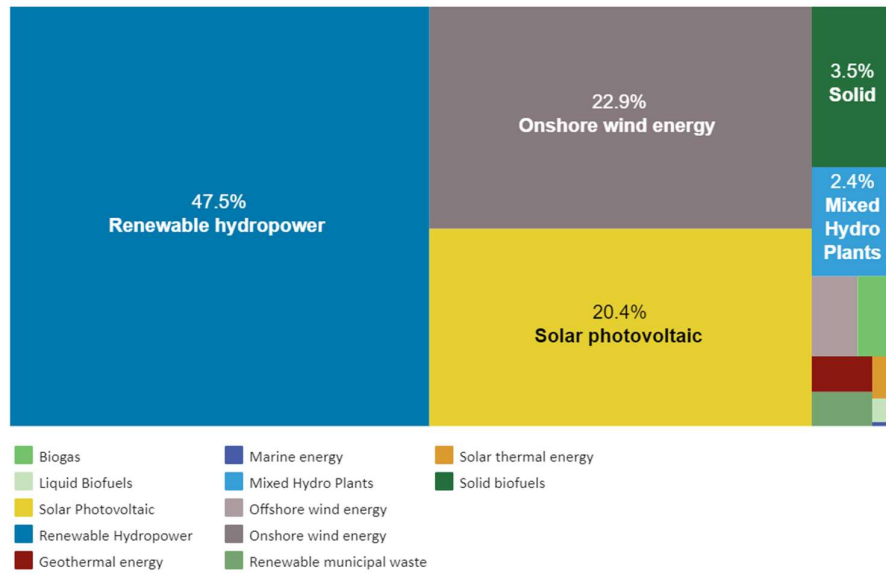


Gráfico 9 – Capacidad Instalada en el Mundo de tecnologías Renovables 2018 - Fuente: IRENA

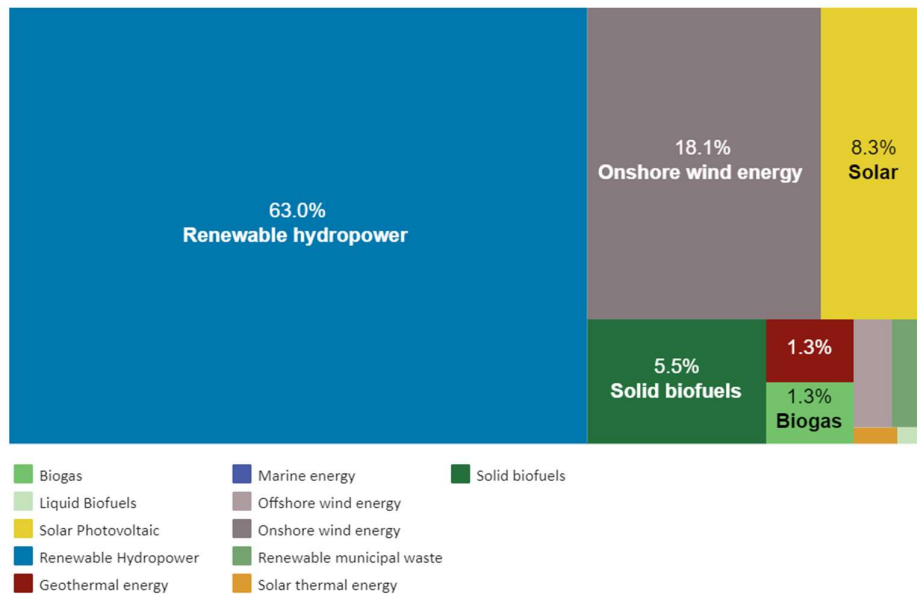


Gráfico 10 – Electricidad Generada en el Mundo de tecnologías Renovables 2018 - Fuente: IRENA

Es importante comentar en este punto el debate que existe respecto a si la energía nuclear puede ser considerada como Renovable o no. Quienes sostienen que no argumentan que el material a partir del cual se genera la energía es el uranio y en particular el uranio U – 235 el cual si bien existen en la naturaleza grandes reservas por ejemplo las que se encuentran

en el agua del mar, pero que no está siendo explotada al no ser económicamente rentables. Así que, teniendo en cuenta las reservas que actualmente si se pueden explotar y el ritmo al que se consume el uranio, siendo mayor al de su generación natural, estaríamos ante una energía no renovable. (Villatoro, F. R. (2018, 24 octubre)) (Portillo, S. R. (2020, 24 abril). Por su parte los que sostienen que es Renovable hacen énfasis en que la producción mundial de uranio es más que suficiente para satisfacer la demanda futura aunque señalan que habrá que realizar inversiones significativas y que se requerirá experiencia técnica para asegurar que las reservas se pongan en producción a tiempo. (Foro Nuclear (2020, 25 mayo)).

Para el presente trabajo tomaremos a la misma como No Renovable sin por ello dejar de reconocer la importancia que tiene la misma en la reducción de emisiones de CO₂ basta con ver la preocupación que tiene la IAE dado que año a año se están viendo en países desarrollados una merma en su generación por sobre todas las cosas por su riesgos medioambientales relacionados a la gestión de residuos nucleares y aspectos de seguridad luego de la tragedia de Chernóbil y Fukushima:

La energía nuclear y la hidroeléctrica forman la columna vertebral de la generación de electricidad con bajas emisiones de carbono. Juntos, proporcionan las tres cuartas partes de la generación global con bajas emisiones de carbono. Durante los últimos 50 años, el uso de la energía nuclear ha reducido las emisiones de CO₂ en más de 60 gigatoneladas, lo que equivale a casi dos años de emisiones globales relacionadas con la energía. Sin embargo, en las economías avanzadas, la energía nuclear ha comenzado a debilitarse, con el cierre de plantas y pocas inversiones nuevas, justo cuando el mundo requiere más electricidad con bajas emisiones de carbono. Si no se toman medidas, la energía nucleoelectrica en las economías avanzadas podría disminuir en dos tercios para el año 2040. Lograr el ritmo de reducción de las emisiones de CO₂ de acuerdo con el Acuerdo de París ya es un gran desafío, como se muestra en el Escenario de desarrollo sostenible. Requiere grandes aumentos de la eficiencia y la inversión en energías renovables, así como un aumento de la energía nuclear. Este informe identifica los desafíos aún mayores de intentar seguir este camino con mucha menos energía nuclear. Recomienda varias acciones gubernamentales posibles que tienen como objetivo garantizar que las centrales nucleares

existentes puedan funcionar siempre que sean seguras, apoyar la construcción de nuevas centrales nucleares y fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías nucleares. (IEA, 2019)

2.3.1 – Energía Eólica

La energía eólica es la energía obtenida del viento. Es uno de los recursos energéticos más antiguos explotados por el ser humano y es a día de hoy la energía más madura y eficiente de todas las energías renovables. El término “eólico” proviene del latín “aeolicus”, perteneciente o relativo a Eolo, Dios de los vientos en la mitología griega. (Acciona, 2021).

En sí la base de la tecnología es la misma que se ha usado durante milenios, aerogeneradores o más conocidos como “molinos de viento” con aspas que se desplazan producto del flujo de viento, lo que sí ha cambiado sustancialmente son los materiales a partir de los cuales son producidos, la longitud de los mástiles, el diámetro de las aspas y la eficiencia en la generación de energía.

A partir del empuje de las energías renovables comentado anteriormente, fue sin dudas la eólica la que mayor explosión mostró, en parte explicado porque la tecnología ya había alcanzado un grado de madurez importante lo cual repercutía también en su costo en comparación con otras energías renovables. Esto sin dejar de lado el peso que pueden haber tenido las grandes corporaciones que ya existían para ese entonces. Esto se puede observar en la comparativa de los gráficos 11 y 12 a continuación, donde se aprecia que la eólica tiene una aceleración en su utilización más temprano en el tiempo así como en también en los gráficos 9 y 10 vistos anteriormente se ve claramente la predominancia de la generación eólica por sobre la solar.

Otra muestra de los progresos que mostró esta industria fue la instalación de parques eólicos “offshore” es decir instalados íntegramente sobre el Mar.

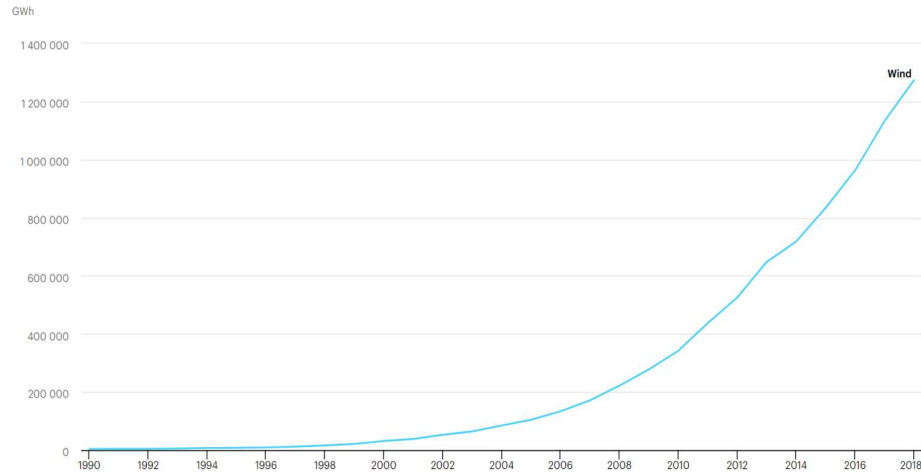


Gráfico 11. Energía Eléctrica generada con recursos Eólicos en el Mundo- Fuente: IEA

En la actualidad es utilizada casi íntegramente como fuente para generar energía eléctrica y por lo tanto acarrea algunos problemas consigo como ser la disponibilidad de líneas de transmisión desde los lugares de generación (que suelen ser apartados de las grandes urbes) hasta los puntos de consumo, su imposibilidad de acumulación (a excepción de países donde se utiliza en combinación con una fuente hidroeléctrica o baterías) y su carencia de “firmeza” ya que depende de que haya viento para que se pueda generar energía.

Desde el punto de vista medioambiental más allá de su compatibilidad con otras actividades agrícolas, ganaderas y hasta incluso de tránsito (puertos) se recomienda no colocar parques eólicos en rutas de migración de aves así como en las cercanías de aeropuertos.

2.3.2 – Energía Solar

La energía solar es la energía contenida en la radiación solar. Este tipo de energía renovable se genera mediante reacciones de fusión nuclear en el Sol. La radiación viaja hacia la Tierra mediante la radiación electromagnética y, posteriormente, puede ser aprovechada.

La energía solar se puede aprovechar en forma de energía térmica o energía eléctrica, para su consumo posterior allá donde se necesite. Cuando se trata de energía térmica obtenemos calor para calentar un fluido.

El elemento encargado de captar la radiación solar y transformarla en energía útil es el panel solar. Los paneles solares pueden ser de distintos tipos dependiendo del mecanismo escogido para el aprovechamiento de la energía solar:

- A) Mediante captadores solares térmicos (energía solar térmica)
- B) Mediante paneles solares fotovoltaicos (energía solar fotovoltaica)
- C) Sin ningún elemento externo (energía solar pasiva)

A) Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se utiliza para producir electricidad. Las instalaciones fotovoltaicas están formadas por paneles solares fotovoltaicos. Estos paneles se componen de células fotovoltaicas que tienen la virtud de generar una corriente eléctrica gracias al Sol. La corriente que sale de un panel solar es corriente continua y son los convertidores de corriente los que permiten transformarla en corriente alterna.

La corriente eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos se puede utilizar para suministrar en instalaciones autónomas o para suministrarla directamente a la red eléctrica.

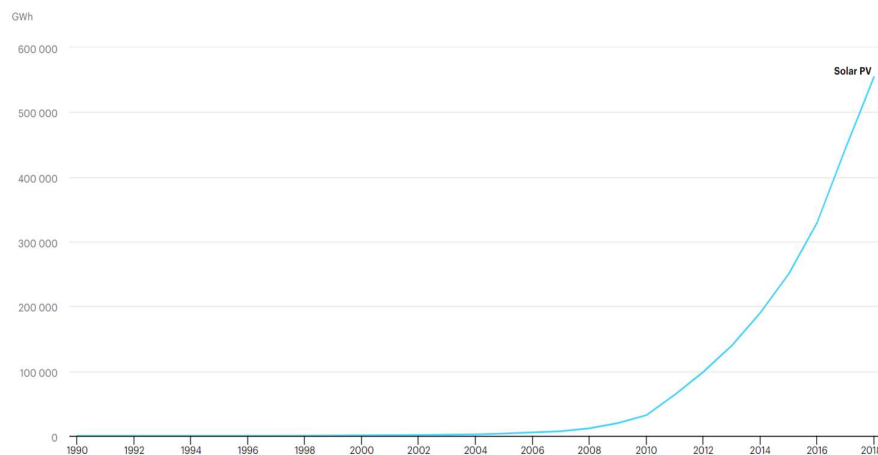


Gráfico 12. Energía Eléctrica generada con recursos Solar en el Mundo- Fuente: IEA

B) Energía termosolar

La energía también se puede llamar termosolar. Este tipo de energía es otra forma de aprovechamiento muy habitual y económico. Su funcionamiento se basa en el aprovechamiento de la radiación solar para calentar agua mediante colectores solares.

Los colectores solares aumentan la temperatura del fluido aumentando su energía interna. De esta forma es fácil transportar la energía térmica generada y utilizarla donde se necesite. Un uso habitual de este tipo de energía es la obtención de agua caliente sanitaria o para la calefacción de una vivienda.

Por otro lado, existen grandes centrales térmicas que utilizan esta técnica para someter el agua a alta temperatura y convertirlo en vapor. Este vapor se utiliza para accionar turbinas de vapor y generar electricidad.

C) Energía solar pasiva

Los sistemas pasivos aprovechan la radiación solar sin la utilización de ningún dispositivo o aparato intermedio. Esta técnica se realiza mediante la adecuada ubicación, diseño y orientación de los edificios.

El objetivo es emplear correctamente las propiedades de los materiales y los elementos arquitectónicos de los mismos: aislamientos, tipo de cubiertas, protecciones, etc.

Aplicando criterios de arquitectura bioclimática se puede reducir la necesidad de climatizar los edificios y de iluminarlos.

La energía solar pasiva es el método más antiguo de aprovechamiento de la radiación solar. Se trata del método que ya utilizaban las culturas antiguas. (Solar-Energía 2021 marzo 8)

Desde el punto de vista medioambiental significa una competencia con otras actividades agrícolas o ganaderas en lugares donde la tierra es hábil para desarrollar ese tipo de actividades, es un tema no menor ya que se ha identificado el mismo problema con los biocombustibles ya que compite directamente con la producción de alimentos básicos para el hombre lo que algunos países ha llegado a cuestionarse si ello puede hacer encarecer los productos primarios de la alimentación humana (trigo, girasol, leche, carne).

A diferencia de lo ocurrido con la energía eólica que ya tenía un grado de avance significativo la tecnología para cuando se produjo el interés por las energías renovables, en el caso de la solar aún no había alcanzado el grado de madurez necesario, esto se puede ver claramente en los gráficos 13 donde se refleja que la instalación de parques eólicos comienza antes que la solar. Así como también en el gráfico 14 se puede observar como recién en el 2014 los costos de instalación de una y otra tecnología comienzan a igualarse aunque aún el LCOE (*Levelized Cost of Energy*) sigue siendo mayor en la eólica que en la solar, es decir el valor del coste total actual de construir y operar a lo largo de toda su vida útil una instalación de energía solar es mayor que el de una de energía eólica.

A partir de los mismos gráficos se puede concluir que la energía eólica ha estabilizado sus niveles de inserción anuales a partir del 2009 en adelante cosa que la energía solar aún no parece haber alcanzado su “meseta”. Esto junto con la poca variación en la disminución de los costos de instalación de la energía eólica entre los años 2010 – 2014 que se puede apreciar en el gráfico 14 no son más que señales que demuestran que la eólica ha sufrido un “estancamiento” en su avance tecnológico que no logra optimizar los costos de instalación o mejorar su factor de capacidad por unidad instalada de forma tal de mejorar su LCOE. En contrapartida si bien la solar comenzó más tarde en su mejora de productividad en la actualidad se ve cada vez más avances que repercuten en menores costos de instalación y mayores rendimientos por panel instalado.

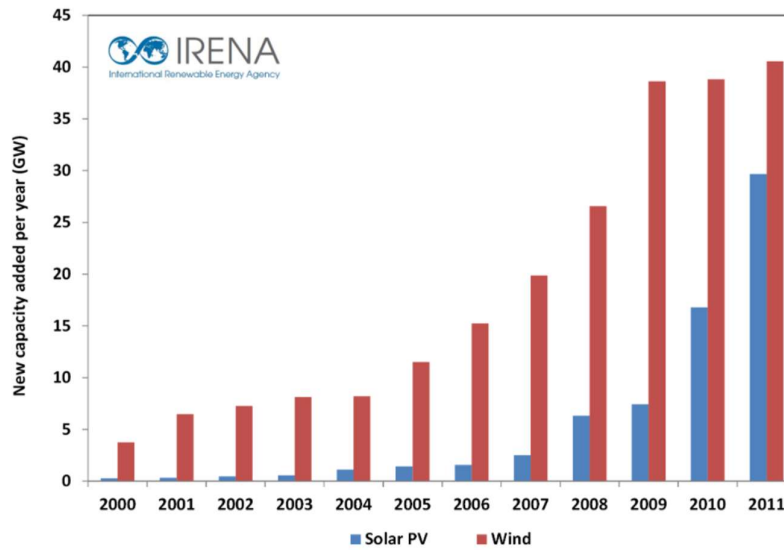


Gráfico 13. Capacidad Instalada por año en (GW) de Energía Eólica y Solar - Fuente: IRENA

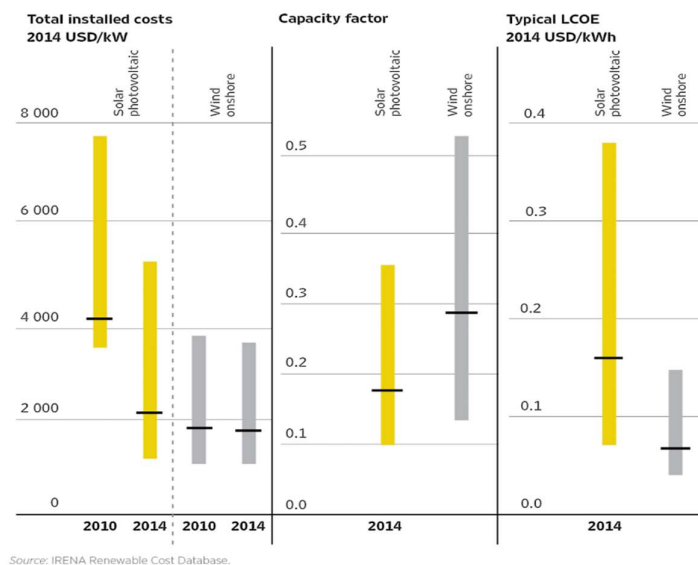


Gráfico 14. Comparación entre Energía Eólica y Solar por Costo de Instalación, Factor de Capacidad y LCOE - Fuente: IRENA

Por último cabe mencionar que la energía solar ha tenido un importante desarrollo a nivel micro (instalaciones en hogares, industrias o comercios) a diferencia de la eólica que no ha podido desarrollar ese nicho de mercado. Las explicaciones de esto radican en la facilidad que presentan hoy día los paneles para instalarlos en techos de casas, depósitos y el

surgimiento de gran cantidad de empresas abocadas a ese nicho de mercado junto con incentivos fiscales que se han visto en varios países.

2.3.3 – Energía Hidráulica

Energía hidráulica, energía hídrica o hidroenergía es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Se puede transformar a diferentes escalas. Existen, desde hace siglos, pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río, con una pequeña represa, mueve una rueda de palas y genera un movimiento aplicado generalmente a molinos o batanes. (WASTE Magazine, 2021)

La energía hidroeléctrica es una tecnología madura tal cual lo demuestran los gráficos 9 y 10 vistos anteriormente y a su vez sigue evolucionando como se puede observar en el gráfico 15 a continuación. Las centrales hidroeléctricas de embalse y las plantas de almacenamiento por bombeo son especialmente adecuadas para proporcionar flexibilidad al sistema, mientras que las centrales hidroeléctricas de pasada son variables en sí mismas según las condiciones meteorológicas actuales o estacionales.

Las centrales hidroeléctricas de pasada aprovechan la energía para la producción de electricidad principalmente a partir del caudal disponible del río. Estas plantas pueden incluir almacenamiento a corto plazo o "pondage", lo que permite cierta flexibilidad horaria o diaria, pero generalmente tienen variaciones estacionales y anuales sustanciales.

Las centrales hidroeléctricas de embalse dependen del agua almacenada en un embalse. Esto proporciona la flexibilidad para generar electricidad bajo demanda y reduce la dependencia de la variabilidad de las entradas. Los embalses muy grandes pueden retener meses o incluso años de entradas promedio y también pueden proporcionar protección contra inundaciones y servicios de riego.

Las plantas de almacenamiento por bombeo utilizan agua que se bombea desde un depósito inferior a un depósito superior cuando el suministro de electricidad supera la demanda o se

puede generar a bajo costo. Cuando la demanda excede la generación de electricidad instantánea y la electricidad tiene un valor alto, el agua se libera para fluir desde el depósito superior a través de turbinas para generar electricidad. El almacenamiento por bombeo representa actualmente la inmensa mayoría del almacenamiento de electricidad en la red. (IEA, 2021).

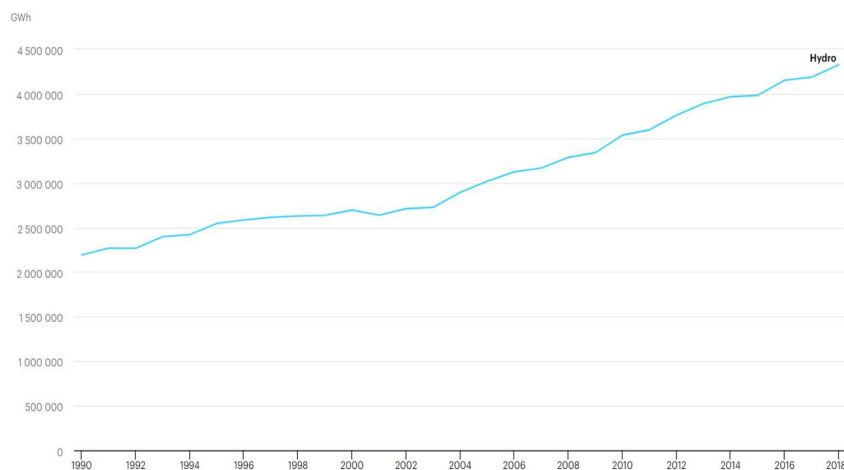


Gráfico 15. Energía Eléctrica generada con recursos Hidráulicos en el Mundo- Fuente: IEA

Tomando en consideración la perspectiva ambiental son muchas las organizaciones que se han manifestado en contra de las represas hidroeléctricas ya que producen un gran impacto en la zona donde se construyen debido a que inundan grandes superficies de terreno (en ocasiones fértiles para el desarrollo de actividades agrícola ganaderas) y modifican el caudal de ríos y la calidad del agua.

2.3.4 – Otras fuentes de Generación de Energía Renovable

Existen una gran cantidad de tecnologías que utilizan las más variadas fuentes de recurso como la fuerza de los océanos, las aguas termales existentes a nivel subterráneo, reutilización de materia orgánica, en el gráfico 16 se puede observar el peso que poseen estas fuentes en

la generación de energía eléctrica donde los biocombustibles tienen un importante aporte. A continuación se explicara básicamente como es el funcionamiento de alguna de ellas:

Las instalaciones de energía solar de concentración (CSP por su sigla en inglés) concentran la energía de los rayos del sol para calentar un receptor a altas temperaturas. Este calor luego se transforma en electricidad - electricidad solar térmica (STE por su sigla en inglés). Desde la perspectiva del sistema, STE ofrece ventajas significativas sobre la fotovoltaica, principalmente debido a sus capacidades de almacenamiento térmico integradas. Las plantas de CSP pueden seguir produciendo electricidad incluso cuando las nubes bloquean el sol, o después de la puesta del sol o temprano en la mañana cuando aumenta la demanda de energía. Ambas tecnologías, aunque son competidoras en algunos proyectos, son en última instancia complementarias.

La energía geotérmica puede proporcionar calefacción, refrigeración y generación de energía de carga base a partir de recursos hidrotermales de alta temperatura, sistemas acuíferos con temperaturas bajas y medias y recursos de roca caliente. Cada fuente geotérmica es única en su ubicación, temperatura y profundidad de la piscina, y se han desarrollado varias tecnologías geotérmicas para optimizar los recursos específicos.

La energía oceánica representa la porción más pequeña de electricidad renovable a nivel mundial, y la mayoría de los proyectos permanecen en la fase de demostración. Sin embargo, con recursos grandes y bien distribuidos, la energía oceánica tiene el potencial de crecer a largo plazo. (IEA, 2021)

La bioenergía moderna es una fuente importante de energía renovable, su contribución a la demanda de energía final en todos los sectores es cinco veces mayor que la eólica y la solar fotovoltaica combinadas, incluso cuando se excluye el uso tradicional de biomasa. En los últimos años, la bioenergía para la electricidad y los biocombustibles para el transporte ha crecido rápidamente, principalmente debido a los niveles más altos de apoyo político. Sin embargo, el sector de la calefacción sigue siendo la mayor fuente de bioenergía.

La bioenergía moderna no incluye el uso tradicional de biomasa en los países en desarrollo y las economías emergentes para cocinar y calentar, utilizando fuegos abiertos ineficientes o estufas de cocción simple, lo que tiene impactos en la salud humana y el medio ambiente. (IEA, 2021)

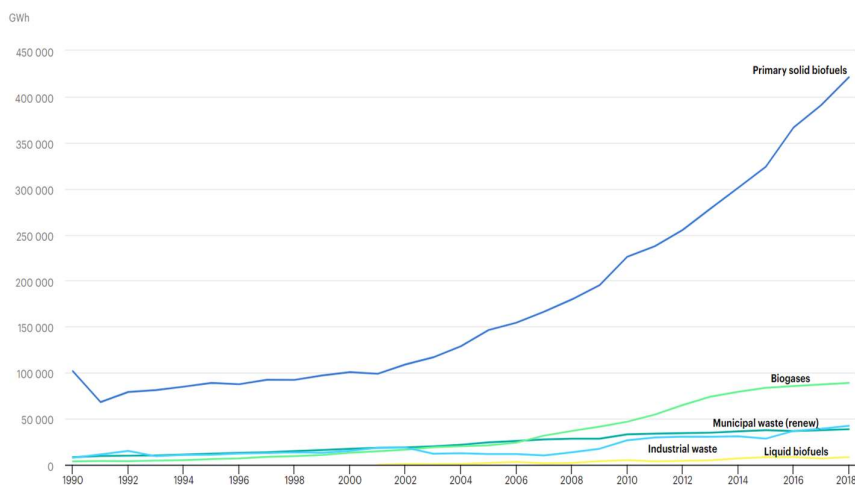


Gráfico 16. Generación de Electricidad por Otras Fuentes Renovables en el Mundo- Fuente: IEA

2.4 – Conclusiones del Capítulo

Existe consenso amplio al respecto de que las energías renovables son actores principales en la revolución que el mundo necesita hacia una descarbonización en el proceso de generación de energía. Lo que si quedan dudas es respecto a cuál de ellas o que combinación de las mismas es la óptima con el objetivo planteado de la descarbonización.

Es importante resaltar que las energías renovables cumplen con el cometido de reducir las emisiones de Co2 pero no existe la fuente de energía neutra en cuanto a impacto medioambiental, como toda actividad humana. Por lo que este también debería ser uno de los factores a analizar a la hora de elegir la combinación de las mismas.

Capítulo III - Hidrógeno Verde

3.1 - Introducción

El objetivo de este capítulo es informar al lector sobre el Hidrógeno, que es, para que se utiliza, cómo ha evolucionado la tecnología a lo largo del tiempo y las distintas formas de generación, haciendo especial énfasis en la producción de Hidrógeno a partir de fuentes de energía generada por recursos renovables conocido como Hidrógeno Verde.

3.2 - Hidrógeno

El hidrógeno es el primer elemento de la tabla periódica. Es el elemento químico más ligero que existe, su átomo está formado por un protón y un electrón y es estable en forma de molécula diatómica, es decir formada por dos moléculas de hidrógeno (H₂).

En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, y es insípido, incoloro e inodoro. En la Tierra es muy abundante, constituye aproximadamente el 75 % de la materia del Universo, pero se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno formando moléculas de agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos. Por tanto, no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, sino que es un vector energético (como la electricidad) y por ello se tiene que “fabricar.” (Centro Nacional de Hidrógeno – España, 2019 febrero 6).

Un kilogramo de hidrógeno puede liberar más energía que un kilogramo de cualquier otro combustible (casi el triple que la gasolina o el gas natural). (Centro Nacional de Hidrógeno – España, 2019 febrero 6).

3.3 – Historia del Hidrógeno

Si bien se reconoce que fue Robert Boyle quien en 1671 descubrió el Hidrógeno, fue Henry Cavendish en 1766 quien presentó ante la Royal Society resultados acerca de las propiedades

de un gas que se generaba cuando un ácido atacaba un metal. Luego del descubrimiento de éste se logró identificar que era un gas liviano, inclusive más liviano que aire y fácilmente inflamable.

Es imposible hablar del Hidrógeno sin hacer referencia a los dirigibles o comúnmente conocidos como Zeppelin, los cuales constaban de grandes globos llenos de Hidrógeno que gracias a una de las principales virtudes de éste, la de ser más liviano que el aire, le permitía tomar importantes alturas que permitieron la expansión de la industria aeronáutica.

El primero en realizar este procedimiento, fue Jacques Alexander Charles quien en 1783 realizó una demostración en París que consistió en un vuelo de 45 minutos. Ya en el año 1793, se realizó un vuelo similar en Estados Unidos por Jean Pierre Blanchard quien realizó un viaje de Philadelphia hasta New Jersey cubriendo 90 km en su trayectoria.

Luego de este período de experimentación, el uso de Hidrógeno en aeronaves se fue intensificando con la fabricación de zeppelines. Estos equipos eran aeronaves con forma de cigarro que conformaban un gran reservorio de hidrógeno que permitía su elevación.

El principio de funcionamiento era similar al de los primeros globos de hidrógeno, pero, por medio de turbinas de propulsión se lograba el avance de la nave y con timones su dirección. El primer equipo de uso comercial fue el Van Zeppelin, un equipo de 130 metros de largo y que lograba recorrer 500 kilómetros por día. Estos equipos fueron operados desde 1900 hasta 1930 por las primeras empresas aerocomerciales y llegaron a transportar hasta 90 pasajeros por viaje. El equipo más famoso fue el Hindenburg, construido en Alemania en 1936 el cual se incendió un año más tarde en New Jersey durante su aterrizaje ver imagen 1 a continuación. (La Nación, 1997) (Collection of Harold G. Dick, 2021)

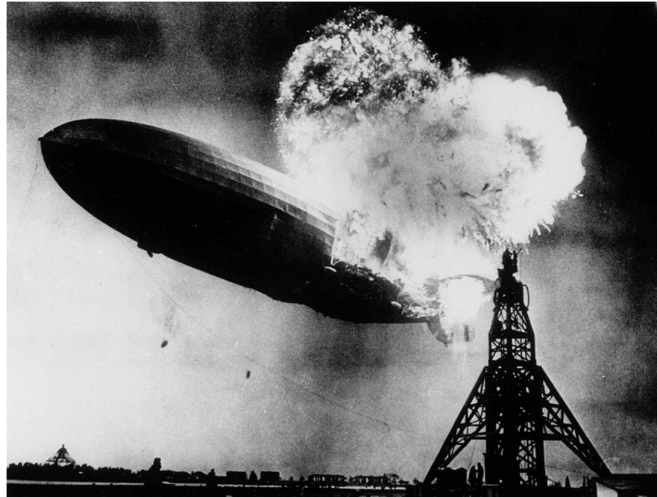


Imagen 1. Accidente LZ Hindenburg Fuente: US Navy

3.4 – Usos

El hidrógeno se ha utilizado con seguridad durante muchas décadas en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo las industrias de la alimentación, metal, vidrio y química. La industria mundial del hidrógeno está bien establecida y produce más de 50 millones de toneladas de hidrógeno al año. (Centro Nacional de Hidrógeno – España, 2019 febrero 6).

Hoy en día, el hidrógeno se utiliza principalmente en los sectores químicos y de refinación y se produce a partir de fósiles, lo que representa el 6% del uso mundial de gas natural y el 2% del consumo de carbón y es responsable de 830 MtCO₂ de emisiones anuales de CO₂. La ampliación será fundamental para reducir los costos de las tecnologías para producir y usar hidrógeno limpio, como electrolizadores, celdas de combustible y producción de hidrógeno con CCUS (*Carbon Capture, Use and Storage*, por sus siglas en inglés). (IEA, 2021).

Con respecto a la energía, el hidrógeno puede ser utilizado como combustible para el transporte, y para generar electricidad mediante pilas de combustible. Un kilogramo de hidrógeno libera más energía que cualquier otro combustible (casi el triple de la gasolina o gas natural), y para liberar esa energía no emite dióxido de carbono, sólo vapor de agua, por

lo que el impacto ambiental es nulo. Un vehículo de motor de combustión interna de hidrógeno (MCI) utiliza un motor de combustión interna convencional modificado para la combustión de hidrógeno gaseoso. Los vehículos de MCI de hidrógeno son un 30% más eficiente comparado con los vehículos de gasolina, y funcionan bien en todas las condiciones climáticas, incluso a bajas temperaturas. (Centro Nacional de Hidrógeno – España, 2019 febrero 6).

El hidrógeno verde, que se produce a partir de energías renovables, nucleares o combustibles fósiles con CCUS, puede ayudar a descarbonizar una variedad de sectores, incluido el transporte de larga distancia, los productos químicos, el hierro y el acero, donde se ha demostrado que es difícil reducir las emisiones. El hidrógeno también puede ayudar a mejorar la calidad del aire en las ciudades y mejorar la seguridad energética así como apoyar la integración de energías renovables variables en el sistema eléctrico, siendo una de las pocas opciones para almacenar electricidad durante días, semanas o meses.

3.5 – Producción

Existen distintos métodos de producción de hidrógeno. Se puede producir a partir de distintas materias primas, distintas fuentes de energía y por distintos procedimientos que la imagen 2 a continuación sintetiza. Según sean la materia prima y la fuente energética utilizada para producirlo se podrá hablar de procesos 100% renovables o “verdes”, 100% fósiles o híbridos en un determinado porcentaje. Hoy en días los expertos utilizan colores para identificar cual fue la fuente de generación del Hidrógeno, así por ejemplo llegamos a que el Hidrógeno Marrón o Negro es aquel que fue producido en base a carbón, el Gris es aquel que fue producido en base a gas, el Azul es cuando Marrón o al Gris se le aplican Celdas de Captura de Co₂ (CCUS en inglés), el Verde es aquel producido a través de Energías Renovables y por último el Rosa que es aquel que fue producido en base a Energía Nuclear.

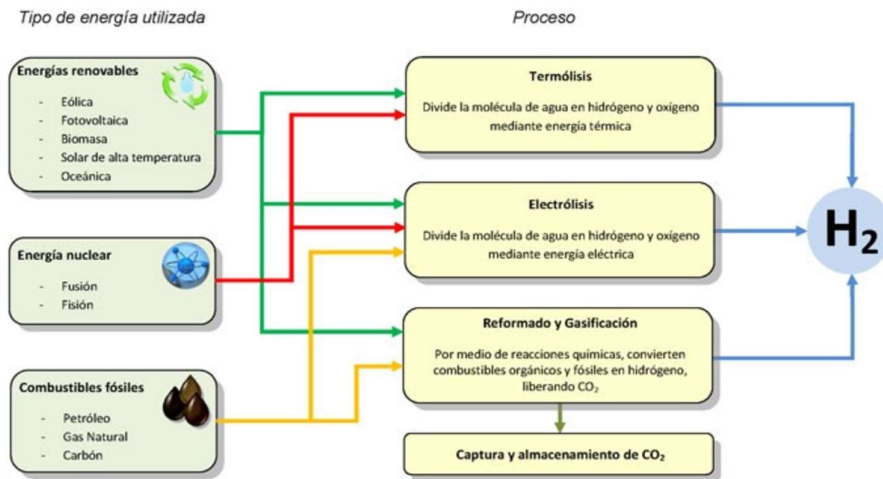
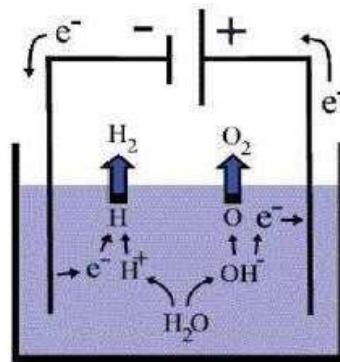


Imagen 2. Formas de generación de H₂- Fuente: Centro Nacional del Hidrógeno - España

3.5.1 Electrólisis

La electrolisis es la hidrólisis del agua, separación de los átomos que constituyen sus moléculas, por medio de la electricidad. Es el método mejor conocido para la producción de hidrógeno.



Electrólisis

Imagen 3. Electrólisis- Fuente: Investigación Clara Fernandez Bolaños

Los electrodos, el cátodo y el ánodo, se sitúan en la solución y generan el movimiento de electrones. El hidrógeno se forma en el cátodo, mientras que el oxígeno lo hace en el ánodo como se ve en la Imagen 3. Para mejorar la producción de hidrógeno, u oxígeno, por vía de la electrolisis, se suele variar la composición del agua, generalmente con la adición de sales, para aumentar la velocidad de reacción. También se utilizan tecnologías demembrana.

La electrolisis es muy efectiva como medio de producir hidrógeno puro en cantidades pequeñas.

Debido a que la electrolisis utiliza electricidad, la eficiencia térmica del proceso incluye la eficiencia de la generación de la energía eléctrica, así como la electrolisis en sí misma. El proceso de electrolisis tiene una eficiencia generalmente de entorno al 75%. La eficiencia de producción de energía eléctrica varía dependiendo del medio por el que se produzca ésta. Lo que significa que la eficiencia total para la producción del hidrógeno mediante esta tecnología se encuentra entre el 25-45% o incluso menos si es producido por fuentes de energía renovable.

Por otro lado, debido a que la electrolisis utiliza la electricidad como entrada, no tiene las restricciones geográficas de otros procesos, como son por ejemplo aquellos que necesitan calor. Esto permite una localización flexible y remota de los generadores de hidrógeno, suministrando una generación distribuida para este portador de energía, sin necesidad de transporte físico o almacenamiento a gran escala del gas en sí mismo.

A pesar de que la separación de la molécula de agua por medio de la electrolisis ha sido utilizada durante décadas, este uso ha sido limitado a unidades de producción pequeñas. La electrolisis no ha sido empleada en grandes plantas debidas, principalmente, a su baja eficiencia comparada con el reformado de vapor. Existen, de todas formas, algunas grandes plantas de hidrógeno electrolítico que consumen más de 100MW, así como miles pequeñas. Callejo, D. (s. f.).

3.5.2 Reformado de Vapor de Gas Natural

El hidrógeno también puede ser extraído de los hidrocarburos a partir del reformado. Reformado de vapor, o reformado catalítico de un hidrocarburo ligero, como el gas natural,

bajo una atmósfera de vapor, es la tecnología dominante para la producción de hidrógeno. De hecho el 95% del hidrógeno producido en los Estados Unidos es a partir de este proceso. El hidrógeno producido por este proceso necesita una purificación antes de ser utilizado en procesos posteriores.

El reformado de vapor es un proceso termodinámico que consiste en hacer reaccionar metano, o más comúnmente gas natural, y vapor a una alta temperatura.

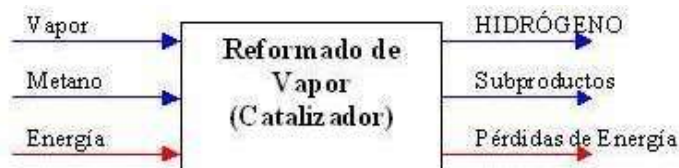


Imagen 4 – Entradas y salidas del proceso de producción de hidrógeno mediante reformado de vapor.

Fuente: Investigación Clara Fernandez Bolaños

Se producen dos reacciones como se visualiza en la Imagen 4. La primera, la reacción de reformado, que es fuertemente endotérmica, y que transcurre con un catalizador y a una alta temperatura. La segunda reacción es exotérmica. A continuación se produce el proceso de separación, se elimina el dióxido de carbono y se purifica el hidrógeno.

El proceso convencional transcurre en un reactor químico a temperaturas entre 800-900°C. Cuando estas temperaturas se consiguen con combustibles fósiles, se convierte en el método más barato para producir hidrógeno actualmente. El calor es generalmente suministrado quemando el exceso de metano. Esto conlleva la pérdida de tanto reactante como de algo de producto de hidrógeno. Las eficiencias típicas para un proceso de reformado de vapor son en torno al 70%.

Una de las principales desventajas que se observan en este proceso es la pureza del hidrógeno obtenido. La pureza del hidrógeno resultante tiene que ser mejorada para muchas de las aplicaciones de hoy en día, en las que se requiere un hidrógeno de alta pureza. El CO₂ se elimina mediante un lavado alcalino, bien con una solución amónica, bien con una solución cáustica regenerativa, y finalmente, gas rico en hidrógeno se refrigera hasta bajas temperaturas y se purifica. Este proceso de purificación incurre en costes, y no es, por ejemplo, necesario en el proceso de electrolisis.

Este proceso de producción de hidrógeno lleva asociada la emisión de gases de efecto invernadero como es el dióxido de carbono. Por tanto se podría enmarcar dentro de los sistemas de producción de hidrógeno sucio. Callejo, D. (s. f.).

3.5.3 Gasificación del Carbón

El proceso básico de gasificación del carbón comienza convirtiendo el carbón en estado gaseoso calentándolo en un reactor de alta temperatura. El carbón gaseoso se trata posteriormente con un vapor y oxígeno y el resultado es la formación de hidrógeno gaseoso, monóxido de carbono y dióxido de carbono.

La gasificación del carbón es el método más antiguo de producción de hidrógeno; las plantas llevan operando durante largo tiempo en Europa, Sudáfrica y los Estados Unidos. Además hay grandes yacimientos de carbón en todo el mundo. Este método de producción se convierte en económicamente viable si el CO₂ es capturado y usado para recuperar el metano atrapado en las minas de carbón.

Sin embargo, es casi dos veces más caro producir hidrógeno a partir del carbón que a partir del gas natural, debido a ratio hidrógeno carbono, que en el gas natural es de 4:1 y en el carbón es de 0.8:1. Y, a menos que el dióxido de carbono sea capturado en el punto de producción, las emisiones asociadas a la gasificación del carbón son significativas. Fernandez - Bolaños, C. F. B. B. (2005)

3.5.4 Otras particularidades de su Producción

El hidrógeno puede ser producido localmente, en grandes instalaciones centrales o en pequeñas unidades distribuidas ubicadas cerca del punto de uso. Esto significa que todas las zonas, incluso áreas remotas, puedan convertirse en productores de energía. Además, el hidrógeno puede ser producido y almacenado utilizando los excedentes de energía producida por las energías renovables, como la solar, la eólica, la hidráulica entre otras.

Como se explicó previamente el hidrógeno se puede extraer de combustibles fósiles y biomasa, del agua o de una mezcla de ambos. El gas natural es actualmente la principal fuente de producción de hidrógeno, y representa alrededor de las tres cuartas partes de la

producción mundial de hidrógeno dedicada anual de alrededor de 70 millones de toneladas. Esto representa aproximadamente el 6% del uso mundial de gas natural. Al gas le sigue el carbón, debido a su papel dominante en China, y una pequeña fracción se produce a partir del uso de petróleo y electricidad.

El costo de producción de hidrógeno a partir de gas natural está influenciado por una variedad de factores técnicos y económicos, siendo los precios del gas y los gastos de capital los dos más importantes.

Los costos de combustible son el componente de costo más grande, y representan entre el 45% y el 75% de los costos de producción. Los bajos precios del gas en Oriente Medio, Rusia y América del Norte dan lugar a algunos de los costes de producción de hidrógeno más bajos. Los importadores de gas como Japón, Corea, China e India tienen que lidiar con precios de importación de gas más altos, y eso genera mayores costos de producción de hidrógeno.

Si bien menos del 0,1% de la producción mundial de hidrógeno dedicado en la actualidad proviene de la electrólisis del agua, con costos decrecientes de la electricidad renovable, en particular de la energía solar fotovoltaica y eólica, existe un creciente interés en el hidrógeno electrolítico. (IEA, 2019 junio).

3.6 – Hidrógeno Verde

El hidrógeno Verde es aquel que se produce a partir de Energías Renovables y por tanto tal cual se comentó previamente implicaría no emitir gases de efecto invernadero en toda su cadena de producción y consumo.

Fue a partir de que Japón tomó la presidencia del G20 solicitó a la IEA realizar un análisis sobre la situación actual del hidrógeno y ofrecer una orientación sobre su desarrollo a futuro. El informe llamado “*The Future of Hydrogen*” encuentra que el hidrógeno verde está disfrutando actualmente de un impulso político y empresarial sin precedentes, con la cantidad de políticas y proyectos en todo el mundo expandiéndose rápidamente como se puede observar en el gráfico 17. Concluye que ahora es el momento de ampliar las

tecnologías y reducir los costos para permitir que el hidrógeno se utilice ampliamente. Las recomendaciones pragmáticas y viables para los gobiernos y la industria que se brindan permitirán aprovechar al máximo este impulso creciente.

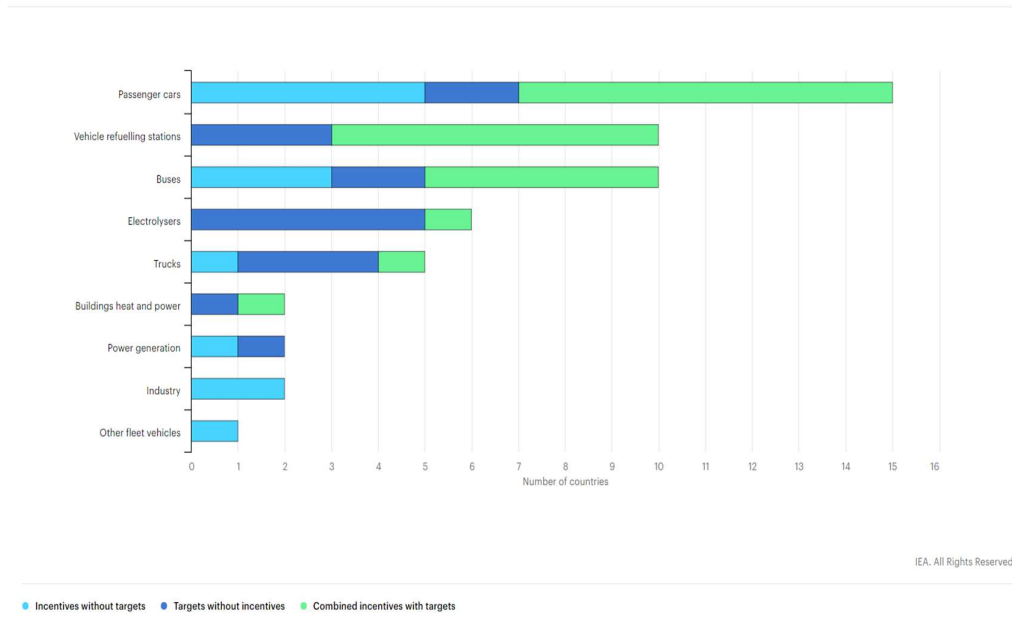


Gráfico 17. Cantidad de Países con Políticas de soporte para el Desarrollo de H2 en 2018 Fuente: IEA

A su vez desataca que es liviano, almacenable, denso en energía y no produce emisiones directas de contaminantes o gases de efecto invernadero. Pero para que el hidrógeno haga una contribución significativa a las transiciones de energía limpia, debe ser adoptado en sectores donde está casi completamente ausente, como el transporte, los edificios y la generación de energía. (IEA, 2019 junio).

La generación de electricidad a partir de energías renovables o energía nuclear ofrece una alternativa al uso de la electricidad de la red para la producción de hidrógeno.

Con la disminución de los costos de la electricidad renovable, en particular de la energía solar fotovoltaica y eólica, el interés por el hidrógeno electrolítico está creciendo y ha habido varios proyectos de demostración en los últimos años. La producción de todo el hidrógeno actualmente generado a partir de la electricidad daría lugar a una demanda de electricidad de 3600 TWh, más que la generación eléctrica anual total de la Unión Europea. (IEA, 2019 junio).

Con la disminución de los costos de la generación solar fotovoltaica y eólica, la construcción de electrolizadores en ubicaciones con excelentes condiciones de recursos renovables podría convertirse en una opción de suministro de bajo costo para el hidrógeno, incluso después de tener en cuenta los costos de transmisión y distribución del transporte de hidrógeno desde ubicaciones de energías renovables (a menudo remotas) a los usuarios finales. (IEA, 2019 junio).

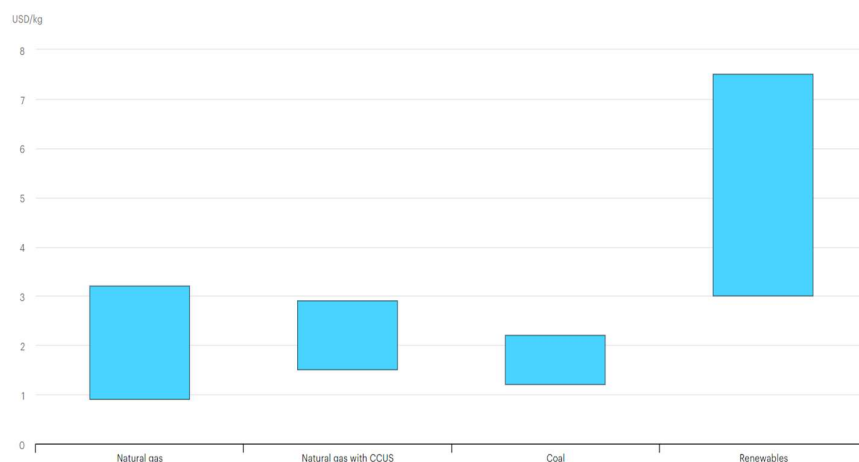


Gráfico 18. Costo de generación de H2 en 2018 por cada fuente: IEA

Como puede verse en el gráfico 18 aún el costo de generación de H2 a partir de energías renovables es mayor que el producido a partir de recursos fósiles pero las políticas e incentivos gubernamentales apuntan a disminuir esa brecha.

3.6.1 – Oportunidades en el Corto Plazo

La IEA ha identificado cuatro oportunidades a corto plazo para impulsar el hidrógeno en el camino hacia su uso limpio y generalizado así como también diseño la cadena de valor que se puede ver en la Imagen 5 a continuación . Centrarse en estos podría ayudar al hidrógeno a alcanzar la escala necesaria para reducir los costos y los riesgos para los gobiernos y el

sector privado. Si bien cada oportunidad tiene un propósito distinto, las cuatro también se refuerzan mutuamente.

- A) Hacer de los puertos industriales los centros neurálgicos para aumentar el uso de hidrógeno limpio. Hoy en día, gran parte de la refinación y la producción de productos químicos que utiliza hidrógeno a base de combustibles fósiles ya se concentra en las zonas industriales costeras de todo el mundo, como el Mar del Norte en Europa, la Costa del Golfo en América del Norte y el sureste de China. Alentar a estas plantas a cambiar a una producción de hidrógeno más limpia reduciría los costos generales. Estas grandes fuentes de suministro de hidrógeno también pueden alimentar barcos y camiones que prestan servicios en los puertos y otras instalaciones industriales cercanas, como plantas de acero.

- B) Construir sobre la infraestructura existente, como millones de kilómetros de gasoductos. La introducción de hidrógeno limpio para reemplazar solo el 5% del volumen de los suministros de gas natural de los países impulsaría significativamente la demanda de hidrógeno y reduciría los costos.

- C) Expandir el hidrógeno en el transporte a través de flotas, mercancías y corredores. Alimentar automóviles, camiones y autobuses de alto kilometraje para transportar pasajeros y mercancías a lo largo de rutas populares puede hacer que los vehículos de celda de combustible sean más competitivos.

- D) Lanzar las primeras rutas marítimas internacionales del comercio del hidrógeno. Se pueden aprovechar las lecciones del exitoso crecimiento del mercado global de GNL (Gas Natural Licuado). El comercio internacional de hidrógeno debe comenzar pronto para que tenga un impacto en el sistema energético mundial.

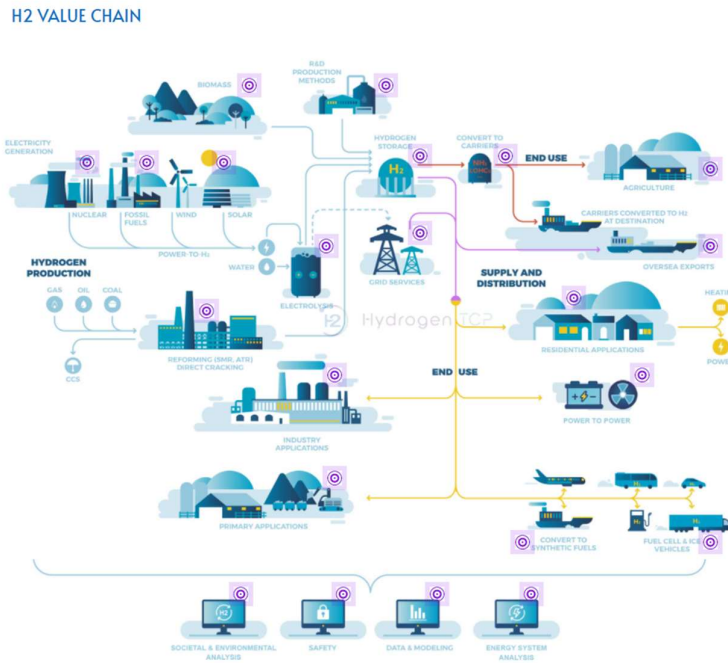


Imagen 5 - Cadena de Valor de Hidrógeno Verde. Fuente: IEA

3.6.2 – Desafíos en el Corto Plazo

Visto que el Hidrógeno es altamente inflamable y que su molécula es muy pequeña a lo que se le suma que podría erosionar el metal del tanque de almacenamiento supone una importante barrera que debe sortear para poder expandir y masificar su uso, de hecho sus 2 desafíos más importantes comentados a continuación se encuentran muy relacionados entre sí:

A) Solucionar el almacenamiento

Las tecnologías de almacenamiento del hidrógeno tienen que mejorar significativamente para que el establecimiento de un sistema basado en el hidrógeno sea posible. Se podría hablar de dos tipos fundamentales de almacenamiento, el estacionario y el no estacionario. El primero sería el que se tendría en los puntos de producción, en los puntos de distribución y en los puntos de consumo estacionario. El segundo grupo sería el almacenamiento para la

distribución y el almacenamiento para consumo durante el transporte. Este último es el que más preocupa, ya que el almacenamiento del combustible a bordo no debería de ocupar un espacio excesivo ni representar un alto porcentaje del peso del vehículo. De hecho una de las mayores barreras para generalizar la aplicación de la propulsión basada en el hidrógeno, es el desarrollo de un sistema de almacenamiento a bordo que pueda suministrar una cantidad suficiente de hidrógeno con un volumen, peso, coste y seguridad aceptables. La mayoría de los métodos de almacenamiento de hidrógeno establecidos tienen ventajas y desventajas, pero ninguno, hasta la fecha, es claramente superior al resto. Fernandez - Bolaños, C. F. B. B. (2005)

B) Solucionar el transporte y distribución

El hidrógeno puede ser transportado como gas comprimido, como líquido criogénico o como sólido en un hidruro metálico. El método más económico de transporte dependerá de la cantidad y de la distancia transportada. El hidrógeno, actualmente, para uso industrial, se transporta como gas a baja presión (100-300 psig*) o a alta (3000-5000 psig) o como hidrógeno líquido, a través de gaseoductos o por carretera por vía de camiones cisterna y tanques criogénicos y una pequeña cantidad en barco o en ferrocarril.

Tanto la licuación como la compresión del hidrógeno tienen importantes necesidades energéticas, que influyen en el coste global de la distribución. Además, las estrategias de producción de hidrógeno afectan de forma importante al coste y al método de distribución. Por ejemplo, con el aumento de las distancias necesarias para centralizar la producción de hidrógeno los costes de distribución aumentan de forma significativa. Por el contrario, la producción distribuida en el punto de uso elimina los costes de transporte, pero aumenta los de producción ya que se pierde la economía de producción a gran escala.

La tecnología que se seleccione para almacenar hidrógeno a bordo de los vehículos puede afectar al sistema de distribución del hidrógeno y a su infraestructura. Si en la aplicación se necesita hidrógeno líquido, el hidrógeno debe ser distribuido de forma licuada. Fernandez - Bolaños, C. F. B. B. (2005)

En definitiva están muy relacionadas los problemas y las soluciones respecto a los desafíos en cuanto al almacenamiento, transporte y distribución del Hidrógeno Verde y dependerá de cual serán los usos que se le dan al mismo para sortear esas barreras.

Más allá de esto parece ser el Amoníaco una de las soluciones con mayor respaldo dentro de la Industria, este compuesto es más sencillo de transportar y almacenar en estado líquido refrigerado, en tanques de acero adecuados para tal propósito.

A pesar de las ventajas descritas anteriormente del amoníaco para el almacenamiento y transporte con respecto al hidrógeno, es importante destacar que éste es un compuesto altamente tóxico, por lo que serán necesarias las medidas de prevención y control pertinentes para su manejo así como una reglamentación técnica y de seguridad

3.7 – Conclusiones del Capítulo

El hidrógeno verde está llamado a ser el “combustible del futuro” (Albornoz, E. A., 2020, 17 noviembre) ya que además de las ventajas resaltadas sobre las renovables en el capítulo anterior se agregan algunas ventajas importantes, a saber:

- A) Es muy abundante
- B) Brinda a las energías renovables una forma alternativa de almacenamiento a las ya conocidas a través de agua acumulada en los embalses y baterías de litio.
- C) Presenta un potencial calorífico por kilo 3 veces mayor que la gasolina o gas natural
- D) Elimina la dependencia de las renovables utilizadas para generar energía que requieren de líneas de transmisión para poder verter la energía generada (“out of the grid”), por lo que trae implícita la descentralización de los proyectos.
- E) Posibilidad de hacer escalables los proyectos en base a la demanda

El potencial del vector energético está por demás demostrado, resta lograr avances en pos de superar los desafíos que acarrea hoy en día principalmente en materia de almacenaje y transporte del mismo.

Capítulo IV - Potencial de Recursos Renovables y Logística de los países del Mercosur

4.1 - Introducción

El cometido de este capítulo es informar al lector sobre el potencial de recursos renovables existentes en los países del Mercosur para poder generar energía a partir de los mismos y ventajas que presenta la región desde el punto de vista logístico para poder generar y transportar hidrógeno verde.

No cabe la menor duda de que Latinoamérica y en particular los países que este trabajo aborda presentan una gran variedad y riqueza de recursos naturales que van desde combustibles fósiles (petróleo, gas), mineros, eólicos, solares e hídricos.

4.2 – Recursos Renovables Argentina

La gran extensión territorial de Argentina permite que posea una gran variedad de climas lo que se traduce en ecosistemas muy diversos, desde zonas desérticas en el noreste, selvas al noreste hasta llegar al sur donde se presentan temperaturas muy bajas.

A su vez cuenta con grandes ventajas desde el punto de vista geográfico ya que cuenta acceso a la cordillera de los andes al oeste y al este tiene “salida” al océano Atlántico, con una extensión de 4.989 km².

Más allá de la riqueza y diversidad generada a partir de contar con una gran variedad de climas y de relieves, Argentina cuenta con una gran cantidad de recursos naturales al poseer la 2da reserva de gas no convencional en el megayacimiento hidrocarburífero conocido como “Vaca Muerta” (Chorny, R. 2018, 10 septiembre).

Argentina también integra junto con Bolivia y Chile del “Triángulo del Litio” que se trata de una región que posee salares con niveles de concentración que hacen que su explotación

sea sumamente rentable en relación a otros depósitos. La Argentina cuenta con 1/7 de las reservas, lo que la ubica en la cuarta posición global, y aporta cerca de 1/6 de la producción total, lo que la coloca en la tercera posición en el ranking mundial. (BID, 2019)

4.2.1 –Energía Eólica

Por si lo anterior fuera poco, Argentina posee uno de los mejores recursos eólicos del mundo, destacándose la región patagónica con velocidades medias de viento superiores a 12 m/s, seguida por Buenos Aires con velocidades medias de viento superiores a 9 m/s, ver en Imagen 6 el Mapa del recurso eólico . Esto, en términos de densidad de potencia media eólica, ubica al país por encima de la media mundial.

Esto se traduce en factores de planta en la Patagonia pocas veces vistos en la industria del entorno de 45%, es decir por cada potencia nominal instalada se logra generar en promedio un 45% de la misma, excelentes si los comparamos con los 38% que obtiene el noreste de Brasil, los 37% promedio que obtiene Uruguay, el 25% en el Norte de Europa y el 15% de Oceanía (Genneia, 2016 16 febrero)

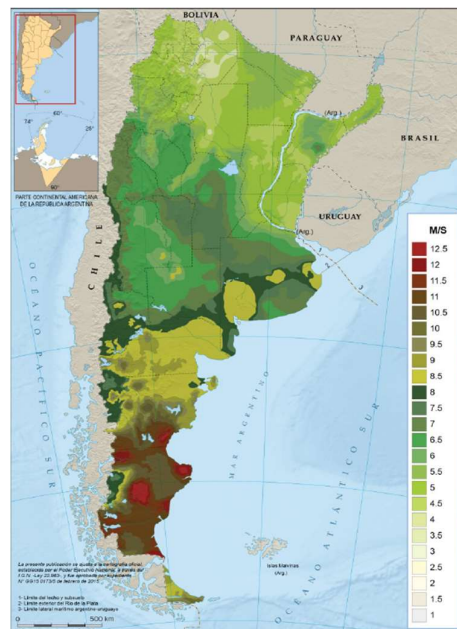


Imagen 6. Mapa eólico argentino Fuente: EducAR

4.2.2 –Energía Solar

La Argentina tiene un gran potencial para el desarrollo de la energía solar. Las regiones andinas y subandinas, desde Jujuy hasta Neuquén, poseen un gran potencial para el desarrollo de esta fuente de energía tal como se puede observar en el Mapa de recurso Solar en la Imagen 7. Por otro lado, la Puna y la Quebrada de Humahuaca también presentan niveles significativos de radiación. Actualmente se están realizando estudios para desarrollar un parque solar en la zona de Hornaditas, con un potencial aproximado de 24 mil MWh al año

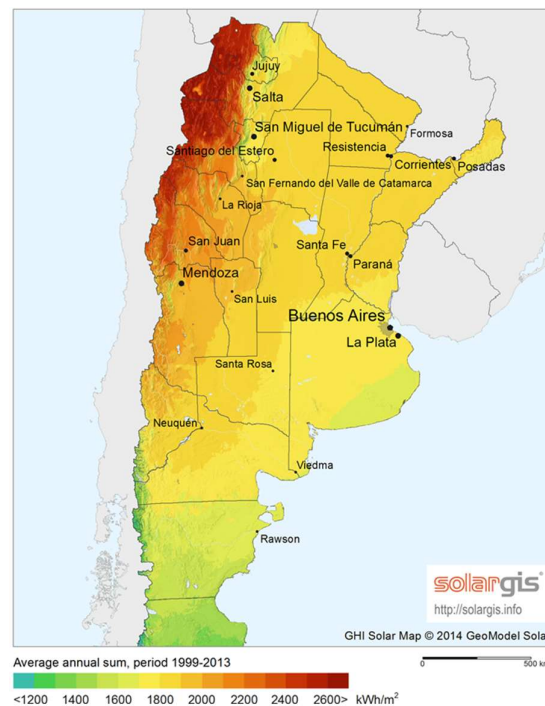


Imagen 7. Mapa recurso Solar Argentino GHI (Global Horizontal Irradiation) Fuente: Solargis

Argentina fomentó a partir de la Ley Nacional de Fomento a las Energías Renovables Ley N° 27191 la implementación de distintas acciones en busca de incorporar potencia renovable al sistema interconectado nacional (SADI), a través de programas como Renovar y Mater, por ejemplo. Ambas iniciativas permiten a los actores del Mercado Eléctrico comercializar energía eléctrica de origen renovable y alcanzar el objetivo de la Ley 27191 de un 20% de cubrimiento de la demanda de energía eléctrica total en el año 2025. Actualmente el

cubrimiento medio supera el 12% con récord instantáneo del 27%. (Energías de mi País - EducAr 2021, 26 febrero), donde predomina marcadamente el Gas Natural como fuente de Matriz Energética que se ve en el gráfico 19

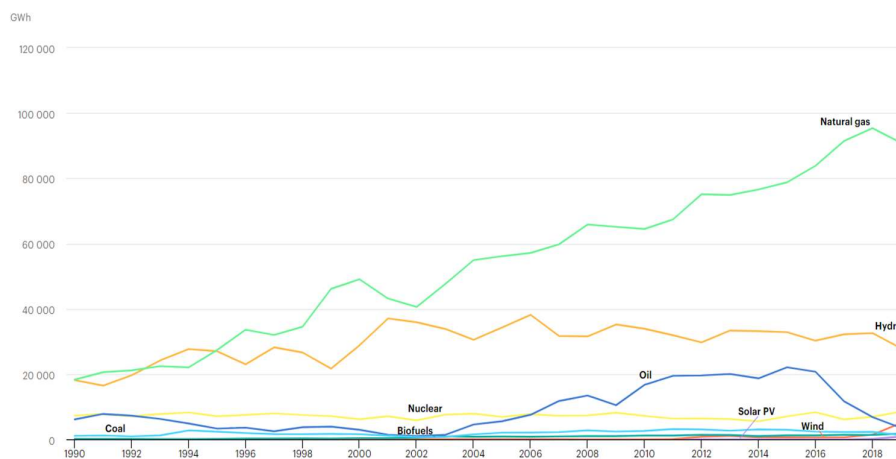


Gráfico 19. Matriz Energética Argentina Fuente: IEA

De todo lo anterior se desprende el gran potencial de recursos renovables tanto eólicos como solares que posee la Argentina para poder generar energía a partir de dichas fuentes, pero a partir de la inestabilidad que ha demostrado el país que se evidencian en concepciones y cambios de política en el sector energético junto con trabas para la libre circulación del capital que desincentivan el interés de inversores extranjeros han hecho que estas industrias se encuentre actualmente en “stand by” a la espera de que se tracen normas claras y a largo plazo.

4.2.3 – Interconexión

Argentina cuenta con el SADI (Sistema Argentino de Interconexión) representado en la Imagen 8, que es el sistema a partir del cual una red eléctrica transporta toda la energía eléctrica que se genera en el país y tiene la virtud frente a otros países de que la misma está interconectada con todo el país. Facilitando de esta forma que zonas con buenos recursos

para la generación de energía puedan entregar a la red para que zonas que no gocen con esos recursos igualmente tengan acceso a la energía.

Más allá de la virtud de contar con todo el país interconectado últimamente se han visto problemas porque los troncales que conectan el sur con el resto del país han visto colmadas sus capacidades dado que es justamente en la región patagónica donde está el mayor potencial de generación eólico del país. Esto ya fue mencionado en capítulos anteriores como una de los pilares a analizar a la hora de desarrollar proyectos de energía renovable así como una de las ventajas que proporciona el hidrógeno verde ya que no requiere de estar conectado al tendido eléctrico para su generación.

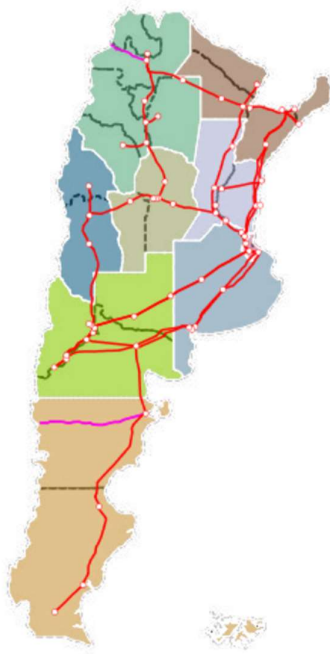


Imagen 8. Sistema Argentino de Interconexión Fuente: Cammesa

4.3 – Recursos Renovables Brasil

Al igual que Argentina, Brasil cuenta con una extensión territorial muy vasta, siendo el 5to país más grande del mundo, y cuenta con infinidad de recursos naturales comenzando por el Amazonas (tanto la selva como el río), 7.491 km² de línea costera sobre el Atlántico, recursos minerales (oro, hierro, diamantes, magnesio) así como petróleo en cantidades suficientes para poder abastecer hasta el 80% de la demanda interna.

4.3.1 –Energía Eólica

Brasil fue pionero en América Latina en lo que a Energía Eólica respecta cuando en 1992 se instaló en el archipiélago de Fernando de Noronha el primer aerogenerador de la región. Luego de esto y en el período entre el 2002 y el 2009 comenzó a crearse legislación para poder fomentar esta energía cristalizando en la 1er Subasta en la que la eólica fue incluida una contratación de 1,8 GW (2da Leilao de Energía Reserva) generando de esta forma la explosión de la misma en las subastas que se desarrollaron a posteriori. (ABEEólica, 2021 Marzo 21).

Por esta razón no es casualidad que Brasil sea el país que mayor capacidad instalada tenga de esta tecnología en la región siendo incluso el 7mo país a nivel mundial según datos del 2019 que se puede observar en el Gráfico 20. Los parques instalados obtuvieron en 2019 un promedio de factor de capacidad de 42,7% en el año 2019 alcanzando en agosto un 59,1% en promedio con días en los cuales el factor excedió los 70% en parques instaladas en la región Noreste del país. (ABBEólica, Agosto 2020)

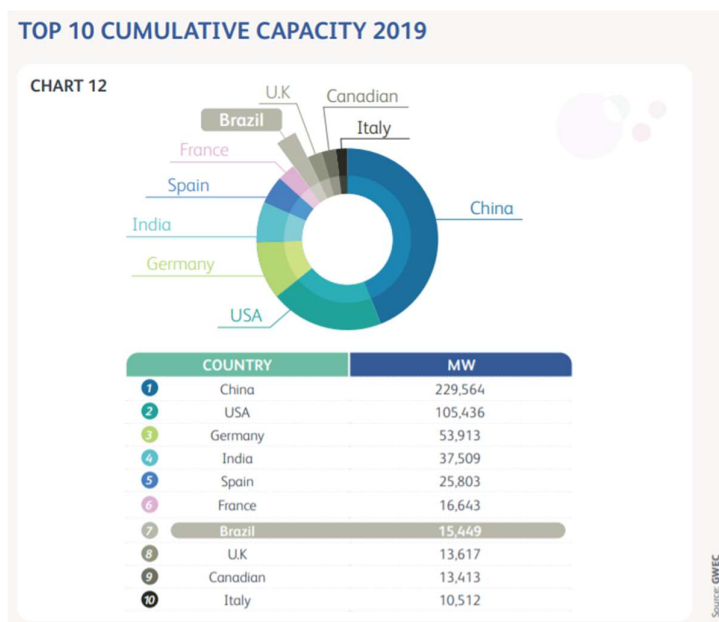


Gráfico 20. Capacidad Instalada de Energía Renovables Onshore al 2019 Fuente: GWEC

Se desprende de la Imagen 9 a continuación que, los estados que presentan mejores vientos son aquellos ubicados en el noreste del país (Maranhão, Bahía, Pernambuco, Rio Grande do Norte y Piauí) y más aún en las zonas costeras de estos, siendo una gran ventaja si se considera lo expuesto en el Capítulo III respecto a la producción de hidrógeno con esta tecnología y la virtud que implicaba hacerlo en la franja costera para contar de primera mano con agua para realizar la hidrólisis así como para su posterior transporte.

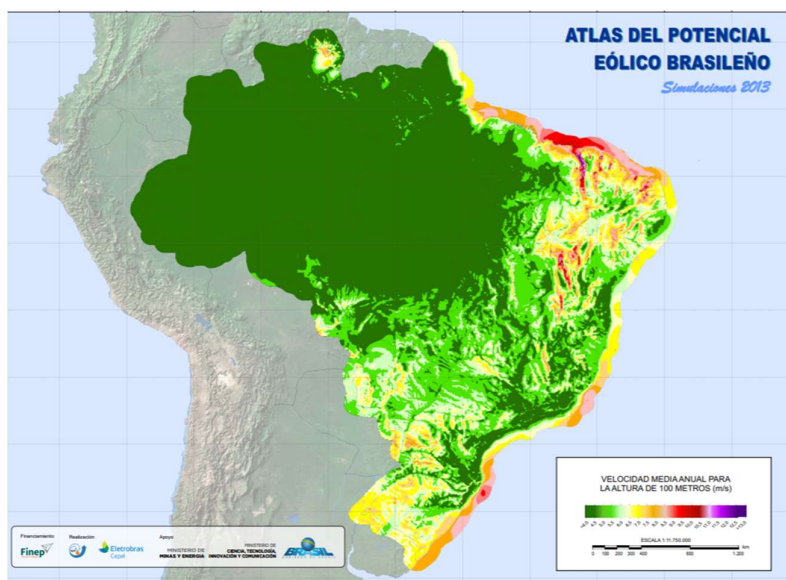


Imagen 9. Mapa Eólico Brasil (velocidad media anual a 100m) Fuente: Cepel

Más allá de lo conseguido hasta ahora por Brasil en términos de eólica, el país goza de una estrategia clara a mediano y largo plazo respecto al incremento de las energías renovables en su matriz de generación a través de su Plan Nacional de Energía al 2050 (PNE) que presentaron a fines del 2020 el Ministerio de Minas y Energía de Brasil (MME) en asociación con la Empresa de Investigación Energética (EPE).

El plan pretende que Brasil diversifique su matriz energética interna, con un combinado de las 4 fuentes actuales; petróleo, gas natural, caña de azúcar e hidroeléctrica. Asimismo, la participación de fuentes totalmente renovables (eólica y solar) en la matriz deberá alcanzar el 45% para el 2030 que actualmente se encuentra por debajo del 20%; con un considerable incremento en la generación solar. (Ministerio de Minas y Energía y Empresa de Pesquisa Energética, 2020) (Chávez, J. C. 2020, 18 diciembre)

El documento desataca que en el escenario del desafío de expansión, en el que la demanda de electricidad en 2050 es 3 veces mayor que en 2015 y dado la mayor competitividad relativa de las denominadas fuentes renovables no controlables, se espera una expansión significativa de la fuente de viento. En la mayoría de las corridas realizadas, la fuente eólica alcanza aproximadamente entre 110 y 195 GW en términos de capacidad instalada y entre

50 a 85 GW promedio en términos de energía en 2050, lo que denota su creciente importancia en la matriz eléctrica en el horizonte (alrededor del 22% al 33% de la capacidad instalada total o del 27% al 40% en energía total en 2050). (Ministerio de Minas y Energía y Empresa de Pesquisa Energética, 2020).

Para cumplir con los pronósticos más conservadores en cuanto a la capacidad instalada al 2050, significaría que año a año Brasil debería agregar 2,8 GW por año, un hito más que desafiante

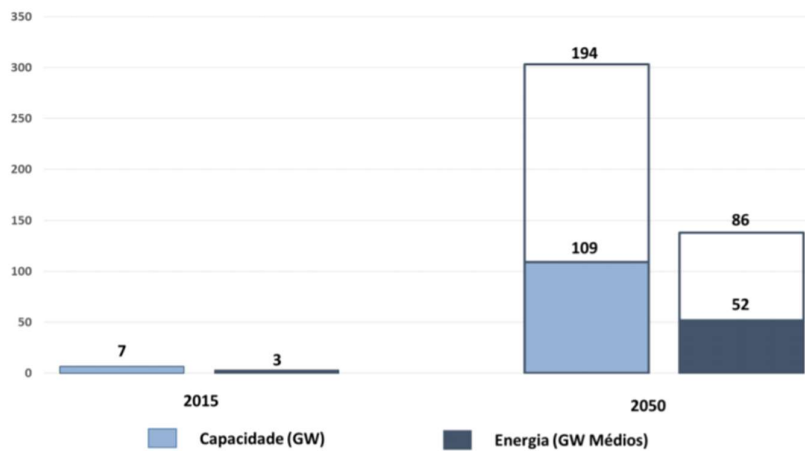


Gráfico 21. Evolución esperada de la expansión de la fuente eólica en el escenario del desafío de expansión
Fuente: PNE 2050

4.3.2 –Energía Solar

A diferencia de otras fuentes, la energía solar tiene su recurso disperso de manera relativamente homogénea en el territorio nacional, y la disponibilidad del recurso primario es virtualmente infinita como se puede ver en la Imagen 10 a continuación. En un estudio anterior (EPE, 2016), se estimó el potencial técnico para la conversión fotovoltaica excluyendo unidades de conservación, tierras indígenas, comunidades quilombolas, áreas de bosque atlántico con vegetación nativa, áreas urbanas, reserva legal y preservación permanente. Solo se consideraron las áreas con una pendiente inferior al 3% y un área

superior a 0,5 km², obteniendo el mapa de potencial mostrado a continuación. Para la estimación cuantitativa del potencial solar fotovoltaico indicado en este Plan, solo las áreas con vegetación nativa. Considerando solo las mejores áreas disponible, con una radiación diaria global media superior a 6 kWh / m² día, sería posible la instalación de 307 GWp (Ministerio de Minas y Energía y Empresa de Pesquisa Energética, 2020).

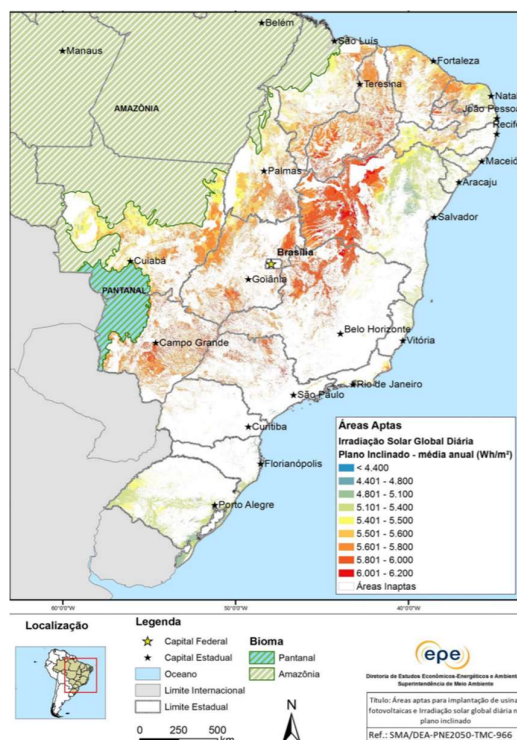


Imagen 10. Áreas aptas para la instalación de plantas fotovoltaicas Fuente: PNE 2050

Así, como en el caso de la fuente eólica, se espera una expansión significativa de la fuente solar fotovoltaica debido a la perspectiva de evolución de su competitividad en el horizonte del PNE 2050. En la mayoría de los casos se disparó y, teniendo en cuenta solo la generación centralizada, la fuente solar fotovoltaica alcanza aproximadamente entre 27 a 90 GW en términos capacidad instalada y entre 8 a 26 GW promedio en términos de energía en 2050, lo que denota su creciente importancia en la matriz eléctrica en el horizonte (alrededor del 5% al 16% de la capacidad instalada total o del 4% al 12% en términos de energía total en 2050, sin contar la participación de GD FV en la matriz). (Ministerio de Minas y Energía y Empresa de Pesquisa Energética, 2020).

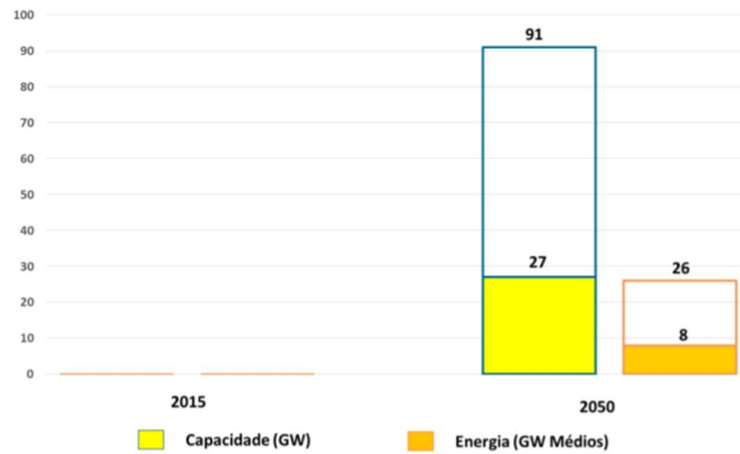


Gráfico 22. Evolución esperada de la expansión de la fuente solar PV en el escenario del desafío de expansión Fuente: PNE 2050

No obstante, para el crecimiento de la energía solar, el PNE vislumbra dos retos importantes. La variabilidad en la generación eléctrica, y la acumulación de residuos de equipos fotovoltaicos. Para ello, se establecerá un programa de reciclaje que se ocupe del tratamiento de la tecnología que ya no sea de utilidad en su momento (miles de millones de módulos solares). Además de la adquisición de equipo que tenga una vida útil de por lo menos 25 años. (Ministerio de Minas y Energía y Empresa de Pesquisa Energética, 2020).

4.3.3 – Interconexión

Brasil tiene actualmente 141.756 km de líneas de transmisión de energía eléctrica, repartidas por todo el territorio que a continuación se observan en la Imagen 11. El Operador Nacional del Sistema (ONS) es el responsable del control, del monitoreo y de la planificación del funcionamiento de las instalaciones de generación y de transmisión de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional, bajo la supervisión de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL). (Metron, 2020, junio).

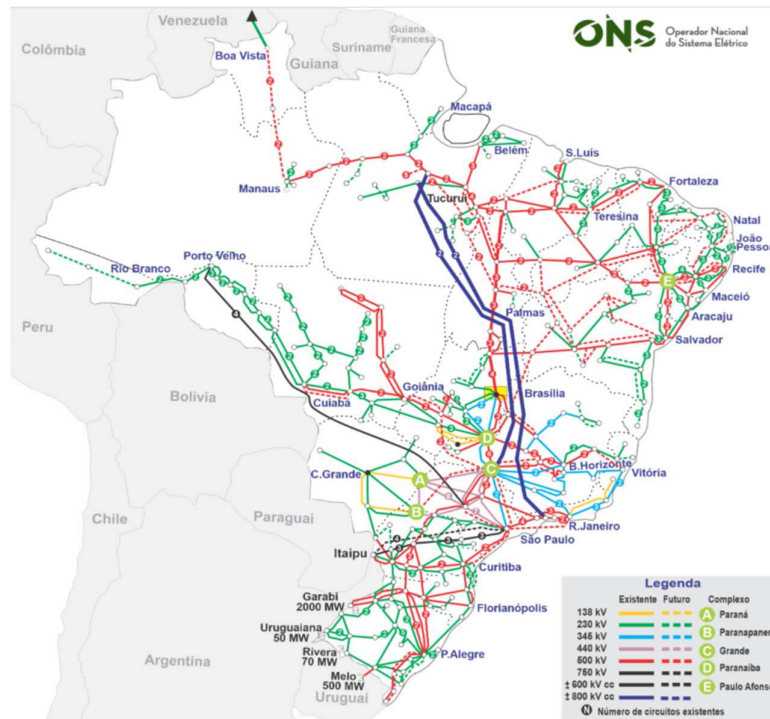


Imagen 11. Mapa de Sistema de Transmisión Brasil Fuente: ONS

4.4 – Recursos Renovables Uruguay

Uruguay a diferencia de sus vecinos analizados anteriormente cuenta con muy poco territorio apenas por encima de los 176.000 km² y sin ninguno de los recursos naturales más utilizados como fuente de energía, como puede ser el gas, petróleo o el carbón. Pero eso no lo impide contar con la totalidad de su superficie apta para el desarrollo de actividades agropecuarias siendo reconocido mundialmente por su producción de Arroz, pasta de celulosa, Carne y sus derivados.

Otra de las virtudes con que cuenta es su salida al mar con sus puertos naturales aptos para el ingreso de barcos de gran calado así como la posibilidad de desarrollar nuevos puertos en caso de ser necesarios.

4.4.1 –Energía Eólica

La matriz energética del país previa al 2009 dependía en casi un 70% del petróleo y un 15% de energía hidráulica y si consideramos la matriz de generación eléctrica estos representaban un 38% y un 55% respectivamente.

Sumado a lo anterior Uruguay no cuenta con yacimientos de petróleo, gas ni carbón, convirtiéndolo en un importador neto de los mismos. Esto generó una crisis energética en el país cuando en el período 2006 – 2009 el barril de petróleo llegó a su máximo 147,25 dólares (el 11 de julio de 2008 el barril Brent, el utilizado como referencia en Uruguay) y concomitantemente sufrió una sequía muy importante afectando así las principales fuente de generación de energía.

Esto provocó que se acordara por todos los partidos políticos un Plan Estratégico Nacional de Energía al 2030 donde la eólica por sobre todas fuentes y luego la solar tuvieron un impulso notable. Fue a partir de ese hito que se logró que el país fuera el 4to país en el mundo (ver Gráfico 23) y el 1ero en América con mayor porcentaje de generación de energía eléctrica a partir de eólica y solar. (UTE, 2021)

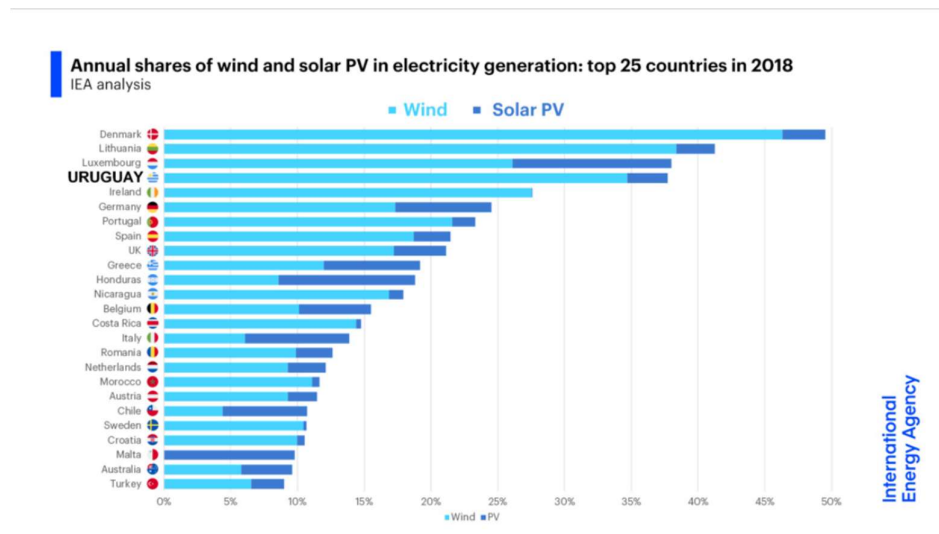


Gráfico 23 – Top 25 países en generación de energía eléctrica a partir de eólica y solar en 2018 Fuente: IEA

Los parques en funcionamiento actualmente presentan factores de planta un poco disímiles pero todos por encima del 35% lo cual es muy atractivo para esta industria. (DNE, 2011) y al igual que Brasil las zonas costeras son las que presentan mejor recurso eólico tal como se desprende del Mapa del recurso en la Imagen 12, con la ventaja que esto conlleva en el caso de evaluar este recurso para la generación de hidrógeno verde.

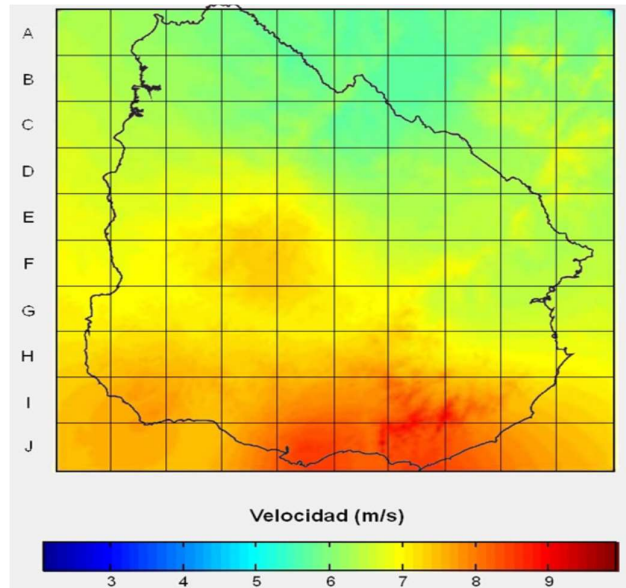


Imagen 12. Mapa de recurso Eólico Uruguay a 90m de altura Fuente: MIEM

Fue tal la expansión que tuvieron estas fuentes que actualmente existen momentos en los cuales Uruguay cuenta con excedentes de energía que le ha posibilitado exportar tanto a Brasil como Argentina a través de las distintas líneas de interconexión que tiene con estos países. Por este motivo junto con proyecciones de demanda de energía futura estables o con aumentos poco significativos es que en la actualidad el país no ha proyectado nuevos desarrollos eólicos ni solares ya que cuenta con suficiente capacidad instalada para satisfacer su demanda actual y la que se proyecta a futuro. Junto con lo anterior se agrega la problemática de la casi inexistente capacidad ociosa de las líneas de transmisión que puedan llevar la energía generada en los parques a las ciudades para su consumo.

4.4.2 –Energía Solar

Uruguay a diferencia de sus vecinos no cuenta con un recurso solar destacable como se puede ver del Mapa del recurso en la Imagen 13, sino que más bien se encuentra dentro del promedio mundial, igualmente y a partir de lo comentado anteriormente con el Plan Energético Nacional donde también se crea el Laboratorio de Energía Solar (LES) el país avanzó en la instalación de Parques Solares.

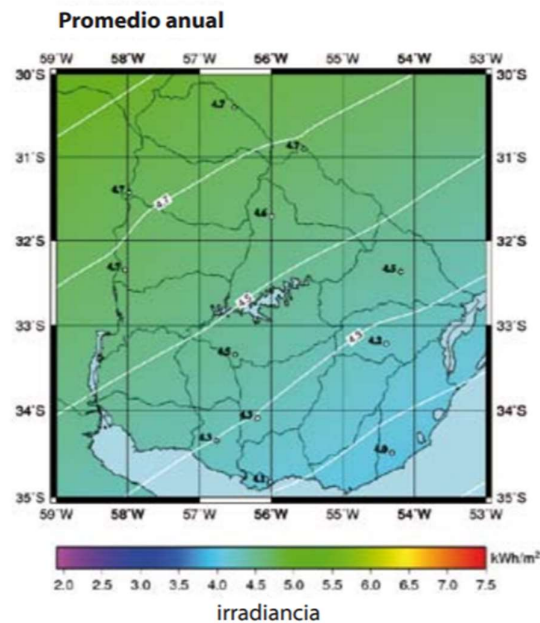


Imagen 13. Mapa de recurso Solar promedio anual en Uruguay Fuente: MIEM

Las instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica en Uruguay han tenido un crecimiento exponencial en los últimos 5 años, tanto a pequeña escala como a gran escala. Se pasó de tener prácticamente 0 MW en 2012 a contar con 242 MW instalados en 2017. El desarrollo de esta fuente se ha dado a partir de 3 mecanismos:

- a) micro generación: instalaciones en baja tensión hasta un máximo de 150 kW,
- b) generación sin inyección a la red, sin límite de potencia, y

c) proyectos de generación fotovoltaica de gran escala.

La energía solar fotovoltaica es complementaria a nivel diario con la energía eólica y a nivel anual con la energía hidroeléctrica (dos fuentes con un alto porcentaje en la matriz eléctrica actual de Uruguay). Los precios de las instalaciones fotovoltaicas han venido bajando sostenidamente en los últimos años y se prevé que continúe esta tendencia en los próximos años, tal cual se pudo observar en el gráfico 14 del capítulo anterior. En este sentido, es una de las alternativas tecnológicas con futuro más promisorio para el corto y mediano plazo a nivel mundial. (Ministerio de Industria, Energía y Minería, 2021)

Por más que el recurso no fuera destacable el país fomentó la instalación de Parques Solares básicamente por 2 virtudes que presenta esta fuente de energía. La primera, es que uno de los picos de mayor demanda de energía que ocurre en un día es sobre el mediodía ya sea porque la gente se dispone a almorzar o se encienden más aires acondicionados producto de mayor calor en las épocas de veranos, y es justamente en el momento que la energía solar mejor performance presenta. Por lo que la simbiosis entre consumo y generación fue un factor importante. La segunda es la facilidad que presenta la tecnología para el desarrollo de micro generación ya sea a nivel de industrias, donde se otorgaban importantes beneficios para que instalaran paneles solares, como a nivel residencial logrando en ambos casos una merma en los consumos de energía de estos.

4.4.3 – Interconexión

Uruguay cuenta con más de 9.000 km de líneas de transmisión eléctrica lo que le ha permitido ser líder en acceso a la electricidad a nivel mundial, alcanzando un 99,8% de la población del país.

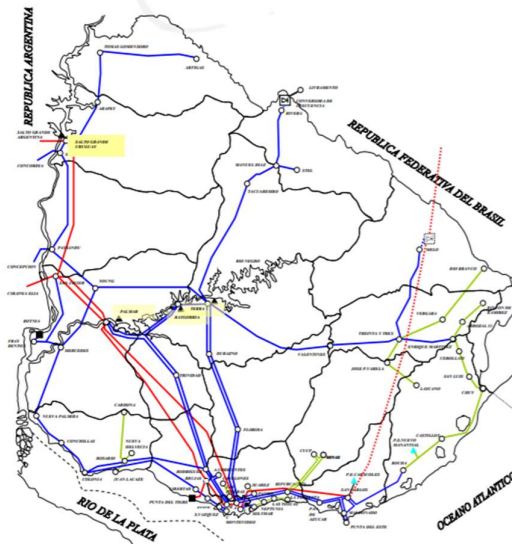


Imagen 14. Mapa de Sistema de Transmisión Uruguay Fuente: UTE

4.5 – Logística Regional e Interconexión

Como fue descrito anteriormente los 3 países cuentan con espacio más que suficiente en la extensión de franja costera que poseen sobre el Océano Atlántico para poder desarrollar nuevos puertos con la logística necesaria para la instalación de plantas generadoras de Hidrógeno Verde así como adaptar a puertos ya existentes esta posibilidad.

A su vez los 3 países tienen puntos de interconexión entre sus sistemas de transmisión de energía lo cual permite a las energías renovables la posibilidad de complementarse entre ellas, pudiendo por ejemplo cubrir faltantes de energía en Uruguay por poco recurso eólico suplirlo con excedentes que se puedan estar generando en ese mismo momento en la Patagonia Argentina. Pudiendo aplicar esto mismo por ejemplo para la producción de hidrógeno en Brasil fruto de la generación de Energía eólica o Solar tanto en Uruguay como en Argentina utilizando para ello la integración de los sistemas existente.

Es de destacar que este se ha fomentado desde el Mercosur cuando en Junio del 2000 en la Declaración conjunta de los Ministros y Secretarios de Energía del Mercosur y Chile, firmado en Buenos Aires:

“se estableció el elaborar mecanismos que permitan el desarrollo de mercados mayoristas regionales abiertos y competitivos de energéticos. Para ello resuelven priorizar el análisis de normas y acuerdos que permitan un activo intercambio, particularmente en los mercados spot o de corto plazo, tanto para combustibles líquidos, como para gas natural y energía eléctrica. Para evolucionar de los intercambios a la integración regional y capturar la máxima eficiencia regional así como fortalecer los mercados nacionales es necesario establecer una organización regional”. (BID, 2001)

Los puntos de Interconexión existentes actualmente entre estos países (Estrada, F. E., & Canete, I. C., 2012):

- 1) Argentina – Brasil.
Paso de Los Libres – Uruguayana. Interconexión. 132/230 kV, 50 MW.
Rincón de Santa María – Garabí. Interconexión. 500 kV, 2100 MW.
- 2) Argentina – Uruguay.
Salto Grande. Hidroeléctrica compartida. 500 kV, 1890 MW.
Colonia Elía – San Javier. Interconexión. 500 kV, 1386 MW.
Concepción – Paysandú. Interconexión. 132/150 kV, 100 MW.
- 3) Brasil – Uruguay.
Livramento – Rivera. Interconexión. 230/150 kV, 70 MW.
Presidente Médici – San Carlos. 500 kV, 500 MW.

Desde la perspectiva de la logística para el transporte, no es excluyente la posibilidad de generar hidrógeno verde en aquellas regiones que tengan costas en el Atlántico (más allá de la posibilidad que otorga la interconexión de los sistemas), sino que estos países cuentan con una gran cantidad de ríos navegables pudiendo algunos incluso contar con calado suficiente para poder exportar el hidrógeno utilizando los mismos. Los mismos están interconectados entre sí a través de la conocida Cuenca del Plata retratada en la Imagen 15 a continuación.



Imagen 15. Cuenca del Plata Fuente: CIC Cuenca del Plata

4.6 – Conclusiones del Capítulo

Para la región analizada las renovables no son una novedad, ya existen emprendimientos operando actualmente y particularmente Brasil tiene proyectado que estas fuentes de energía tengan una expansión aún mayor a la que tienen actualmente. Tanto en Uruguay como en Argentina no se vislumbran crecimientos por distintos factores, en el primer caso porque Uruguay ya cuenta cubierta su demanda de energía más que holgadamente y en el segundo caso Argentina no ha definido a mediano y largo plazo un plan que permita la confianza, seguridad y apoyo gubernamental que este tipo de industrias requieren para seguir creciendo.

Los recursos Eólico y Solares que se encuentran en esta región son de un valor incalculable haciendo atractivo cualquier tipo de emprendimiento ligado a esas fuentes de energía, como es el caso del hidrógeno verde el cual aportaría a su vez un alivio sobre las redes de

transmisión en los lugares donde se genera la energía que tanto en Uruguay como Argentina están en su gran mayoría colmadas. También es una alternativa para evitar los vaivenes propios de este tipo de fuentes energéticas que dependen de factores climáticos, pudiendo gestionar la misma vía generación de hidrógeno el cual puede ser almacenado y utilizado en momentos de bajo recursos eólicos o solares.

Por si esto no fuera poco los 3 países cuentan con posibilidades de establecer polos de generación aislados de las líneas de transmisión en distintas áreas de sus franjas costeras (o no, como vimos anteriormente) permitiéndoles la exportación del producto terminado por todas las vías náuticas con que cuentan.

MARCO EMPÍRICO

Atendiendo a los objetivos y preguntas que persigue esta investigación se optó por utilizar como Herramienta las entrevistas. Se desarrollarán dos entrevistas con perfiles distintos para enriquecer el análisis desde ópticas marcadamente técnicas como el que se analiza en la Herramienta I. En esta se recaba la opinión de tres profesionales para validar la viabilidad técnica, disponibilidad de recursos eólicos y solares en los países bajo análisis y la forma de posicionarse frente a un posible boom de la demanda de este vector energético. De esta forma se logró vincular esta Herramienta con el Marco Teórico, Objetivos y Preguntas que este trabajo aborda según el siguiente resumen:

	Pregunta	Objetivo Específico	Pregunta de Tesis	Marco Teórico
Herramienta I	1	C	1, 2	Cap. I, II y III
	2	A, B	1, 3	Cap. II, III
	3	A, C	2	Cap. I, II y III
	4	D	1, 4	Cap. III, IV
	5	B, D	3	Cap. II, III y IV
	6	D	3, 4	Cap. IV

Por otra parte en la Herramienta II se buscó recabar información respecto a cómo Uruguay está afrontando el desarrollo de una industria alrededor del Hidrógeno Verde, el rol que tendrán los privados y el gobierno y han profundizado en la posibilidad de hacer un desarrollo en conjunto con Argentina y Brasil.

	Pregunta	Objetivo Específico	Pregunta de Tesis	Marco Teórico
Herramienta II	1	B, C	1, 2	Cap. I, II y III
	2	A, B, C y D	2, 4	Cap. II, III y IV
	3	B, D	3, 4	Cap. II, III y IV
	4	D	1, 2 y 3	Cap. II, III y IV
	5	B, C y D	1, 2, 3 y 4	Cap. I, II, III y IV
	6	A, B	4	Cap. II, III y IV
	7	A, B, C y D	1, 2, 3 y 4	Cap. I, II, III y IV

Herramienta I – Análisis de Entrevistas a Referentes en la temática

El propósito de este capítulo es observar la opinión de distintos actores que tienen o han tenido algún tipo de vínculo ya sea con las Energías Renovables, los Objetivos de Desarrollo Sostenibles visto en el Marco Teórico, así como también know how en lo que a Hidrógeno respecta.

1) ¿Qué potencial vislumbra en el Hidrógeno Verde como vector energético?

Todos los entrevistados en esta Herramienta así como los entrevistados en la Herramienta II coincidieron e hicieron hincapié respecto a que en caso de generar Hidrógeno Verde, o sea a partir de Energías Renovables tal cual fue descrito en el capítulo II del Marco Teórico, tiene como principal virtud el hecho de que no emite Co₂ en ningún eslabón de la producción del mismo.

Otra de las coincidencias que tuvieron los entrevistados y que fue analizada en el Marco Teórico en el Capítulo III, 3.4 Usos del Hidrógeno, fue en cuanto a la ventaja que presenta en la posibilidad de complementar las variaciones que tienen las Energías Renovables No Convencionales a través de la reserva de energía en forma de Hidrógeno, logrando de esta forma desacoplar a los sistemas de generación de energía de la existencia de recurso (sol, viento o agua) para poder generar energía. Esta sería una alternativa bien para las baterías de litio, sobre las cuales aún existen muchos expertos que critican esta tecnología dado los problemas medioambientales que conlleva, así como también para las grandes represas Hidráulicas que almacenan energía en forma de agua.

En particular uno de los entrevistados sintetizó en una frase muy concluyente sobre el futuro que depara a esta tecnología “El Hidrógeno Verde sin dudas va a formar parte de la transición energética que es necesario realizar para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles planteados para 2050, no sabemos cuánto incidirá pero sin dudas va a tener un rol en el mismo”

- 2) ¿Cuál de las ventajas que presenta el Hidrógeno Verde es de mayor relevancia para los países de la región?
A modo de ejemplo acumulación de energía, complementariedad y robustez con las Energías Renovables No Convencionales, la posibilidad de tener energía en lugares aislados (Off the Grid)

Frente a esta pregunta se hizo notoria las diferencias que existen entre los países de la región ya que por ejemplo en el caso de Uruguay que cuenta con un territorio pequeño y donde el 99% de su población tiene acceso a la electricidad sin dudas que no necesita el desarrollo de Hidrógeno Verde como solución para abastecer poblados que se encuentren desconectados de la red eléctrica.

Más allá de algunas particularidades de cada país, los entrevistados volvieron a destacar tal cual lo habían realizado en la pregunta anterior el hecho de la complementariedad y robustez que le puede otorgar el Hidrógeno Verde a las matrices de generación que cada vez tienen más incidencias de las Energías Renovables No Convencionales.

Al respecto enfatizaban que Sudamérica presenta la matriz energética eléctrica más limpia al analizarlas por región, en gran parte explicada por las grandes Hidroeléctricas que posee pero también gracias a la gran inserción que han tenido la Eólica y la Solar en los últimos años, como se observó claramente en el Capítulo II para los 3 países bajo análisis.

- 3) ¿Es el Hidrógeno Verde una solución para reducir la generación de Co₂?

Fueron enfáticos todos los entrevistados al destacar que sin dudas es una herramienta fundamental para la reducción de Co₂, sobre todo para descarbonizar la Industria Química y el Sector del Transporte.

En los gráficos 1 a 4 se evidenció el peso que tiene el Sector del Transporte en la generación de Co₂ y si bien se han desarrollado tecnologías como los Vehículos Eléctricos, esta tecnología no ha resuelto aún la problemática del transporte de carga ni de larga distancia, y parece ser ese el lugar donde el Hidrógeno Verde podría traer soluciones.

Uno de los entrevistados mencionó que no solo el Hidrógeno Verde presente la cualidad de no generar Co₂ en su cadena productiva sino que junto con este también se están estudiando y testeando el desarrollo de Hidrógeno Azul y Rosa, los cuales fueron vistos en el Capítulo III, 3.5 al analizar las distintas fuentes de Energía a partir de las cuales se puede generar el Hidrógeno.

- 4) ¿En qué eslabón de la cadena de valor del Hidrógeno Verde los países de la región deberían explotar? A modo de ejemplo en la generación, en el desarrollo de tecnologías para su aplicación, servicios conexos

Todos los entrevistados coincidieron que el desarrollo del Hidrógeno Verde no puede ser ajeno a la realidad histórica de los países bajo análisis y de la región donde siempre se han caracterizado por producir productos primarios y por ser tomadores de tecnología. De hecho ya hoy en día hay países que cuentan con más experiencia en la temática que los hace ser pioneros al respecto, como es el caso de Japón.

Independientemente de lo comentado anteriormente, el entrevistado que más experiencia tiene en el mercado Argentino mencionó que en dicho país hay desde ya hace tiempo 2 plantas de generación de Hidrógeno como son Hychico y Pico Truncado que han aportado mucho conocimiento sobre la producción del mismo sobre todo en materia de desarrollo de hidrolizadores.

Más allá de en una primera instancia enfocarse en la generación del Hidrógeno los entrevistados destacan que esto no deja de ser importantísimo ya que exigiría reglamentar esta actividad, convirtiéndose la región en pioneros de lo mismo tal cual ha ocurrido por ejemplo con Brasil y su desarrollo de las Renovables, know how que luego fue tomado por Uruguay y en último lugar Argentina.

- 5) ¿Entiende que desarrollar un polo de generación de Hidrógeno Verde es una oportunidad para los países de la región?

Uno de los entrevistado comentó “Ningún Ministro de Energía de los países de la región debería descartar esta posibilidad y es un hecho de los países han hecho los deberes al respecto aunque todos a distintas velocidades porque es un hecho de que es algo que se va a venir y más vale estar preparados para eso”

Los entrevistados acordaron en el hecho de que la región cuenta con un potencial para el desarrollo de Energías Renovables que se ha traducido en la matriz de generación eléctrica más limpia por región. Esto conlleva a su vez que tanto el sector público como privado de los países de la región ya conocen como opera el mercado de las renovables y también que exista normativa y reglamentación al respecto. Esto supone una ventaja para nada despreciable frente a otras regiones donde aún las Renovables no han penetrado lo suficiente.

Otro punto que generó comentarios en el mismo sentido, fue respecto a la posibilidad de generación de empleo genuino que puede acarrear esta tecnología sumado al hecho de poder desarrollar en zonas rurales o aisladas plantas de generación combatiendo de esta forma otro de los problemas que acarrea la región respecto a la migración del campo a la ciudad de la población.

El entrevistado con mayor conocimiento en el mercado Uruguayo comentó que el Hidrógeno Verde debería recorrer el mismo camino que el realizado con la inserción de las Energías Renovables en el país, donde el hecho de haber sido pioneros en la instalación sobre todo de Parques Eólicos le permitió a posteriori la posibilidad de exportar ese conocimiento generado en esta industria. Esto se vio en la participación activa de un gran número de empresas Uruguayas en empuje que tuvo Argentina en el período 2016 – 2018 para fomentar las renovables, algo similar a lo que realizó Brasil con Uruguay años antes.

Los entrevistados también fueron claros en el hecho de que aún falta sortear algunas barreras para que el Hidrógeno Verde se convierta en una realidad, por sobre todas las cosas destacaron el hecho de que hoy día “producirlo es casi 10 veces más caro que el Gas que se produce en Vaca Muerta” pero nada indica que esto no pueda bajar sustancialmente a medida que se realicen más pruebas y mejoras en la tecnología tal como ocurrió con las renovables y quedó en evidencia en el gráfico 14 del Capítulo II.

Otra de las barreras comentadas en las entrevistas fue respecto a la logística y transporte del mismo ya que se bien la solución para el transporte parecen ser los buques tanques utilizados para transportar gas, aún resta actualizar la tecnología de los mismos para que esto suceda. A su vez no se debe dejar de lado que los principales mercados de consumos de Hidrógeno serán Europa y algunos países de Asia como ser Japón o China, atendiendo esto comenzarán a jugar un papel importante la cercanía que se tenga de los lugares de consumo. Uno de los entrevistados argumentó que “Lo lógico sería que las plantas de generación deberían instalarse en el Noreste Brasileiro ya que representa la menor distancia de Europa y por otra parte para abastecer el mercado Asiático debería ser Chile el país de instalación de las plantas”

Para poder desarrollar los planteado por este entrevistado, argumentó que es fundamental la interconexión de los sistemas que existe en la región, que fue desarrollada en el Capítulo III numeral 3.4 la cual ya hoy en día otorga la posibilidad de cubrir déficit o excedentes de Energías con el resto de los países. Esta interconexión otorga la posibilidad a futuro de desarrollar plantas de generación en Brasil tal cual su ejemplo, abastecido con energía generada en parques eólicos o solares de Argentina o Uruguay. Idéntica conclusión a la que se arribó en el Capítulo III

Por último y a colación del transporte del Hidrógeno el entrevistado agregó que la Hidrovía también jugará un rol muy importante ya que todo apunta a que el transporte del producto terminado se realizará a través de buques tanques, tal como se hace hoy día con el gas. Por lo que la red de ríos y en particular la Cuenca del Plata que se puede observar en la Imagen 15 serán muy importante.

6) ¿Cuál sería a su juicio los pasos a seguir para desarrollar un polo de generación?

Los entrevistados recalcaron el hecho de que es una estrategia muy inteligente desarrollar esto como un bloque en vez de hacer esfuerzos aislados de los países, aunque también es de destacar que al menos hasta ahora ninguno de los países ha tratado esto en conjunto con otro sino que solamente se han hecho planes individuales de países.

Junto con lo anterior y en relación al tema de análisis de la tesis sostuvieron que sería fundamental poder canalizar esto a través del Mercosur pero las últimas señales del mismo tienden más flexibilizarlo más que a potenciarlo y construir más puentes como podría ser una política en conjunto sobre el Hidrógeno de todos los países miembro.

Es por lo comentado que los entrevistados no ven en esta instancia un desarrollo a nivel de países en su conjunto sino a esfuerzos aislados de los países y sugirieron que la vía para desarrollar la generación del Hidrógeno debería ser a través de un ajuste del marco regulatorio de forma tal que estén dadas las condiciones jurídicas para el desarrollo del negocio. A lo anterior se debería agregar promociones para que los inversores privados se sientan atraídos en desarrollar este tipo de tecnología en los países de la región.

Es importante acompañar el entusiasmo que hoy día tienen los clientes y tener presente que cuantos más inversión en la tecnología al tratarse de un negocio de escala llevará a un descenso en el costo de generación del Hidrógeno.

Uno de los entrevistados concluyó “La región cuenta con excelentes recursos eólicos en la Patagonia y el Noreste de Brasil y también con un recurso solar en Chile envidiable a nivel mundial, eso se ha reflejado en precios de venta de Energía en las Licitaciones practicadas por algunos países que llegaron a los 20 U\$S el MW generado lo cual era impensado hace unos años donde los precios oscilaban los 60 U\$S. Esto y de por sí beneficia al Hidrógeno Verde vía baja en costos de la energía utilizada para generarlo pero más allá de eso nada indica que el Hidrógeno no pueda recorrer el mismo camino que tuvieron las Renovables”

Herramienta II – Análisis de Entrevistas a Grupo Asesor del Gobierno Uruguayo en Materia de Hidrógeno Verde

El propósito de esta herramienta es ver el plan de acción que planea el gobierno de Uruguay respecto al Hidrógeno Verde

- 1) ¿Qué generó la necesidad de desarrollar una estrategia país para el Hidrógeno Verde y el hecho de que gran parte de los países de la región hayan desarrollado un plan respecto? Ej. – Necesidad concreta de Mercados consumidores, madurez de la tecnología.

Los entrevistados aseveraron que hay un consenso a nivel mundial que el Hidrógeno será clave en la descarbonización del sector energético y materias primas. Esto se ve reforzado por lo visto en el Capítulo I de este trabajo donde se desarrolla el Acuerdo de París, a través del cual más de 190 países se comprometieron de tener emisiones neutras de Gases de Efecto Invernadero para el 2050.

Esto es cada vez más explícito en muchas industrias que están realizando anuncios para cumplir con esa meta. Claro ejemplo, es el de las principales marcas de la industria automotriz que han anunciado que sus vehículos serán emisiones neutras al año 2050 y algunas de ellas incluso antes (ej.: General Motors en 2035). Tan importante es este impulso que incluso generó que empresas cuyo negocio principal en la venta de hidrocarburos, como por ejemplo Shell se hayan puesto como objetivo la emisión neutra.

En el caso concreto de Uruguay, el grupo asesor comentó que era un paso lógico que debería dar el país ya que con la introducción de las renovables a partir del 2010, “boom” que quedó expuesta en el Capítulo IV en el numeral 4.3, había logrado que la matriz energética eléctrica fuera un 97% renovables por lo que el próximo paso para descarbonizar la matriz energética primaria que al 2019 se encontraba en 63% renovables era con la introducción del Hidrógeno Verde

- 2) ¿El volumen de Hidrógeno Verde necesario para la descarbonización de la matriz energética primaria uruguaya es suficiente para hacer un proyecto económicamente viable o es necesaria incluir la exportación?

Las primeras afirmaciones del grupo fueron en el sentido de que los contactos comerciales que han tenido con potenciales compradores, el Puerto de Rotterdam es quién más interés ha mostrado al punto de contar con un estudio de prefactibilidad, exigen a los países productores que también utilicen y consuman el Hidrógeno Verde. Esto es algo que ya se está viendo en muchas industrias, la exigencia no solo a la interna de la empresa sino para con los proveedores y funcionarios la necesidad de que cumplan con todas las normativas ambientales, esta fue la conclusión arribada en el Capítulo I

Es en pos de dar cumplimiento con lo anterior agregado al convencimiento que tiene el grupo asesor sobre el vector que en la actualidad Uruguay está licitando un proyecto piloto (H2U) que busca generar experiencias en el uso de Hidrógeno Verde en el transporte a través de camiones y ómnibus.

Destacaron asimismo dos de las virtudes que tiene este vector que fueron comentadas en la conclusión del Capítulo III, en cuanto a la posibilidad de hacer escalable el proyecto logrando de esta forma marcar el ritmo en base a la demanda y la descentralización que trae implícita su generación.

En último lugar y atendiendo a la realidad del mercado uruguayo concluyeron que la exportación blindará definitivamente el desarrollo de la producción de Hidrógeno Verde en el país.

- 3) ¿Identificaron las principales barreras para generar Hidrógeno Verde en Uruguay o en la región?

Los entrevistados sostuvieron que la región tiene realidades muy disímiles en cuanto a factores sociales, industriales y económicos que inciden directamente en que se desarrolle todo una industria a partir del Hidrógeno. Sin ir más lejos, en el caso de Argentina por ejemplo que presión o rol tomará YPF como empresa pública a sabiendas de las inversiones que han hecho en “Vaca Muerta”. Por lo que más allá de las ventajas o desventajas del

Hidrógeno en sí mismo hay factores de índole político que no es posible dejar de lado en el análisis del potencial que tiene la región en la generación de Hidrógeno Verde.

Dejando de lado el entorno geográfico – espacial del proyecto, fueron tajantes en el sentido de que se debe trabajar mucho en la aceptación social apalancado con especial énfasis en la seguridad tal como se hizo en su momento con la Energía Renovable No Convencional. En el caso particular de Uruguay destacaron que es indispensable reforzar y desarrollar nueva infraestructura para soportar la logística que trae aparejada esta industria, haciendo indispensable en el caso de la exportación la creación de un puerto de aguas profundas en el departamento de Rocha. Esto no es algo nuevo en el país ya que bajo el análisis de un proyecto de minería a gran escala, el Proyecto Aratirí de la minera Zamin Ferros, que buscaba la exportación de Hierro exigía la necesidad de un puerto de aguas profundas en el mismo sitio que ahora.

Llamativamente los entrevistados no entienden que el factor tecnológico aplicado a toda la Industria que engloba el Hidrógeno Verde (generación, almacenaje, transporte y consumo), analizados como los desafíos del Hidrógeno en el punto 3.5.2 de este trabajo, sean una barrera para el desarrollo. Creen que con las herramientas que hoy día están disponibles sumado a la gran cantidad de estudios que se están realizando junto con un tema de economía de escala harán aún más viable los proyectos.

- 4) ¿Cuáles son las etapas que se plantean recorrer en el desarrollo de esta estrategia y que rol va a ocupar el gobierno y los privados? Ej. – Avanzar en Normativa, Promoción de Inversiones

Recalaron que aún están diseñando la hoja de ruta a seguir por el país, que para ellos el plan piloto va a jugar un rol muy importante sobre todo en materia de reglamentación necesaria tanto en la aplicación del Hidrógeno como en su generación.

Tampoco está definido en la actualidad el rol que ocupará el gobierno en potenciar esta industria, por lo pronto ya se ha validado a nivel jurídico que el Hidrógeno Verde no es un hidrocarburo logrando de esta que no forme parte del monopolio que posee Ancap (es una empresa pública uruguaya encargada de explotar y administrar el monopolio del alcohol y

carburante nacional, el cemento portland así como importar, refinar y vender derivados de petróleo).

Subrayaron el trabajo que viene llevando adelante Chile, que es quién está a la vanguardia en todo lo que respecta a este vector y que se están siguiendo sus pasos para ver si alguno de los aprendizajes hechos por este país son replicables en Uruguay. De la misma forma que aconteció con las Energías Renovables donde tanto Chile como Brasil fueron pioneros que luego pasaron su know how a Uruguay para en última instancia transmitirlo en Argentina

- 5) ¿Se pensó desarrollar la producción de H₂ de forma regional, visto que existe una importante interconexión entre los sistemas de los distintos países?

Confesaron que no hubo en ningún momento un planteo al respecto de Uruguay a otros países ni ningún otro país hacia Uruguay para desarrollar un plan en conjunto aunque no dejaron de reconocer las grandes ventajas que eso supondría no solo por el lado de unificar la generación en un solo sitio sino también por el aprovechamiento de las distintas infraestructuras que poseen los países de la región. Esto se ve más claramente en el caso de Uruguay que es un mercado muy pequeño y donde en asociación ya sea con Brasil o Argentina traerían consigo otros volúmenes de demanda.

Independientemente de lo anterior, insistieron en que la investigación si debería de construir puentes de asociación en pos de generar un know how a nivel regional que permita la expansión de la industria y un beneficios para toda la región. Al igual que lo había hecho uno de los entrevistados en la Herramienta I pusieron el ejemplo de la empresa Hychico y Pico Truncado como hitos importantes en la generación de conocimiento sobre esta industria.

- 6) Visto que la respuesta anterior fue negativa ¿Qué ventajas y desventajas tiene Uruguay frente al resto de los países de la región o con que otras regiones hay una competencia?

El mismo grupo se cuestionó porque había tanto interés por el lado de la demanda del Hidrógeno Verde, sobre todo desde Europa siendo que muy cerca tienen el continente Africano con un potencial de generación de energía solar capaces de satisfacer ampliamente

la demanda. De hecho uno de los entrevistados ironizó que “cuando fue el boom de las renovables en Europa se hablaba de que solamente instalando una porción pequeña de paneles en el desierto del Sahara bastaría para abastecer todo Europa” pero la realidad es que eso nunca sucedió y el Hidrógeno Verde sea probablemente otro ejemplo de esto mismo.

Reforzando la idea anterior destacaron que como cualquier negocio de cualquier naturaleza el factor de la estabilidad y seguridad jurídica son pilares fundamentales para que se efectivicen las inversiones. A esto agregaron que en el caso de Uruguay el contar con grado inversor y que hay ejemplos muy cercanos en el tiempo de inversiones que tuvieron éxito, como son el caso de las Pasteras de Celulosa.

Dejaron claro que no basta solamente con tener un buen recurso eólico o solar, sino que la decisión por parte de los inversores conlleva un mix de factores donde siempre terminará primando los principios financieros de mayor retorno implica mayor riesgo.

7) ¿En qué eslabón de la cadena de valor del Hidrógeno Verde Uruguay o la región debería enfocarse?

Los entrevistados coincidieron con los referentes consultados en la Herramienta I respecto a que se debe de comenzar por el eslabón de la generación del Hidrógeno Verde y que eso al igual que lo han hecho las Energías Renovables No Convencionales aportará un conocimiento en la región que permitirá en el futuro que empresas locales puedan plasmar sus aprendizajes en otras regiones o países.

Si bien podría decirse que los países seguirían exportando un producto primario, el valor agregado que trae consigo toda esta industria está muy lejos de poder ser igualado con la exportación de cultivos o carne que acostumbra a exportar la región.

CONCLUSIONES GENERALES

A continuación se desarrollaran las conclusiones arribadas a partir de los Objetivos que fueron planteados al comenzar con la investigación así como también las respuestas a las preguntas planteadas en la Tesis

1) ¿Qué es y para que se puede utilizar el Hidrógeno Verde?

Abordamos esta temática en todo el Capítulo III donde se destacó que el Hidrógeno es un vector energético que en condiciones normales se encuentra en estado diatómico gaseoso, es insípido, incoloro e inodoro. A su vez tiene un gran poder calorífico (casi el triple de la gasolina o gas natural) y puede ser generado a partir de distintas materias primas, fuentes de energía y procedimientos. Según sean la materia prima y la fuente energética utilizada para producirlo se podrá hablar de procesos 100% renovables o “verdes”, 100% fósiles o “negros o marrones” o híbridos en un determinado porcentaje.

De esta forma arribamos al concepto de Hidrógeno Verde, es decir la generación de este vector en base a Energías Renovables que trae consigo por consiguiente la nula emisión de gases de efecto invernadero tanto en la generación del mismo al provenir de Energías Renovables como en el consumo de ese Hidrógeno que liberaría agua al ambiente.

El Hidrógeno se ha utilizado por más de 100 años en distintas industrias, destacándose por sobre todas la industria química y petro-química. Desde sus comienzos hasta hoy en día ha predominado la generación del mismo en base a fuentes energéticas fósiles donde el gas natural representa más de tres cuartas partes de la generación a nivel mundial como se pudo concluir del gráfico 18 donde presenta un costo marcadamente menor, estos procesos llevan a la liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Por tanto visto el potencial energético y la posibilidad de almacenaje que posee el Hidrógeno vistos en el Capítulo III, junto con la posibilidad de generar el mismo a partir de Energías Renovables descriptas en el Capítulo II, es que tanto los entrevistados para la Herramienta I

como para la II y expertos a nivel mundial es que se ha ganado el consenso como una de las principales alternativas para afrontar la descarbonización de algunas industrias o sectores como son fundamentalmente el transporte, por sobre todos el de carga y largas distancias, y la industria química.

2) ¿Qué rol ocupará el desarrollo de Hidrógeno Verde frente al Calentamiento Global y la generación de CO₂?

Si bien en un principio existieron escépticos cuando el Calentamiento Global empezó a popularizarse, en la actualidad ya nadie cuestiona que el mismo es un problema que está presente y cada vez más tangible en todas partes del mundo. Sin ir más lejos más de 190 países se acogieron al conocido como Acuerdo de París bajo una causa común, realizar ambiciosos esfuerzos con el objetivo de combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos.

Fue en pos de mitigar el Calentamiento Global que los Gases de Efecto Invernadero, por sobre todos el CO₂ tomaron popularidad y conocimiento ya que son estos los principales responsables del Calentamiento Global, tal como se detalló en el Capítulo I de la presente investigación.

Los generadores del 85% CO₂ en el mundo la industria, el transporte y la generación de electricidad y calor como observamos en el gráfico 1. En particular la generación de energía y calor son responsable de más del 40% de esas emisiones globales pero si analizamos a la interna de ese sector como se puede observar en el gráfico 2, el carbón representa en el entorno del 65/70% de las emisiones del sector por lo que cualquier medida que implique la sustitución de generación de energía a base de carbón por una fuente de energía renovable generaría impactos significativos en la reducción del CO₂.

Los entrevistados en las Herramientas I y II a través de las respuestas a las preguntas 3 y 2 respectivamente han coincidido en que es dentro del Sector Transporte donde este vector puede aportar soluciones. De hecho es en este sector y en pos de obtener soluciones en el

que se ha desarrollado el Plan Piloto por parte del Grupo Asesor del Gobierno Uruguayo. Para ver el aporte que puede hacer el Hidrógeno Verde en este sector resulta importante atender, tal cual se observó en el Capítulo I, es el 2do más importante en cuanto a generación de CO₂ como se ve en el gráfico 1 y a su vez resultaría ser el sector en el cual la decisión directa de una persona solamente podría afectar en la disminución.

Del análisis del mencionado sector y del análisis de los gráficos 3 y 4 se puede inferir que el 74,5% de las emisiones del sector del transporte provienen de transporte de pasajeros y traslados de mercadería por lo que soluciones como vehículos eléctricos o porque no vehículos impulsados a hidrógeno serían una solución para este sector siempre y cuando la energía utilizada para alimentar esos vehículos provenga de fuentes renovables.

3) ¿Qué potencial tienen Argentina, Brasil y Uruguay para el desarrollo de un polo de generación de Hidrógeno Verde?

A raíz de las Herramientas utilizadas en el Marco Empírico y lo expuesto en el Capítulo IV del Marco Teórico no quedan dudas que Argentina, Brasil y Uruguay gozan de excelentes recursos para la generación de Energías Renovables ya sea a través de proyectos de Energía Eólica o Solar. Sin ir más lejos hoy en día los 3 países, aunque en distintas medidas y velocidades, pero han incorporado las mismas a su Matriz de Generación Eléctrica.

Yendo en concreto a requisitos que trae aparejado el desarrollo de esta nueva industria en torno al Hidrógeno Verde se destaca la interconexión que ya hoy en día cuentan los 3 países, la gran cantidad de ríos navegables que los conectan (Cuenca del Plata) y el acceso casi ilimitado al Océano Atlántico, tal cual como destacó esta investigación en el Capítulo IV y como recalcó uno de los entrevistados en el Herramienta I.

Respecto al aspecto de infraestructura si bien existen importantes diferencias entre los 3 países y que quedaron en evidencia en le Herramienta I producto del expertice en distintos países que poseían los mismos podrían beneficiarse todos si canalizara estos desarrollos de forma regional o combinada, complementándose entre los participantes.

Otra gran evidencia de este potencial es que los 3 países junto con otros países de Sudamérica han presentado algún tipo de hoja de ruta o proyectos en pos de la generación de Hidrógeno Verde en sus países, por lo que es claro que tal cual comentó uno de los entrevistados en la Herramienta I, *“Ningún Ministro de Energía de los países de la región debería descartar esta posibilidad y es un hecho de los países han hecho los deberes al respecto aunque todos a distintas velocidades porque es un hecho de que es algo que se va a venir y más vale estar preparados para eso”*.

Independientemente del potencial para desarrollo de renovables o del acceso al mar que presentan los países, no ha habido propuestas para afrontar regionalmente o en conjunto entre los países esto, hecho que fue confirmado por el grupo asesor del gobierno entrevistado en la Herramienta II.

Si bien valoraron la temática que aborda este trabajo y reconocieron en que tiene toda la lógica técnica en los hechos no se ha pensado de esa forma y todos los países ya no solo los 3 que trata este trabajo sino del resto de Sudamérica se encuentran haciendo esfuerzos individuales.

4) ¿Qué cambios son necesarios para poder crear y explotar un polo de generación de Hidrógeno Verde en Argentina, Brasil y Uruguay?

Sería indispensable que esto este proyecto fuera abordado por el Mercosur, pero es importante destacar que este trabajo está siendo realizado en el 1er semestre del 2021 donde se comenzaron a ver rispideces cada vez más marcadas entre los países integrantes del mismo y donde sobre todo Uruguay y Brasil reclaman más independencia a la hora de poder negociar con países o mercados externos. Claramente esto va en línea opuesta a la planteada por este trabajo que buscaba la asociación regional para poder potenciar las ventajas que tienen cada uno de estos países y disimular o solucionar las desventajas que tuvieran.

Por lo que antes de pensar en cualquier tipo de desarrollo en conjunto entre los países del Mercosur lo prioritario sería redefinir la utilidad y objetivos que se plantean a través de esta Integración Regional.

El grupo asesor consultado en la Herramienta II fue contundente sobre este punto al mencionar que *“Si bien tenemos una interconexión de los sistemas entre los países del Mercosur y últimamente se ha visto un avance en cubrir las necesidades de los vecinos cuando la necesitan, la verdad es que se usa muy poco”* por lo que existiendo diferencias de base es muy difícil proyectar a futuro que esto cambie.

También destacaron que más allá de las particularidades que presenta este desarrollo, como cualquier inversión es fundamental brindar seguridad jurídica y buenas experiencias, atributos que en la región son muy disímiles.

Por tanto de lo anterior se infiere que sería casi utópico pensar en algún tipo de asociación entre los países para poder desarrollar esta industria.

Aislado el análisis político, el desarrollo del Hidrógeno Verde dependerá a nivel global de cuanto pueda avanzar la tecnología aplicada a la generación energía renovables que permita costos de esta cada vez más bajos a los vistos en el gráfico 14, lo cual se traducirá en costos de producción de Hidrógeno Verde capaces de competir con los que conllevan la producción a base de gas natural como vimos en el gráfico 18.

También es importante blindar las soluciones en cuanto al almacenaje y transporte del mismo, temática en la cual hicieron especial hincapié los entrevistados en la Herramienta I y que fue abordada en el Capítulo III en el punto 3.6.2 como los desafíos a corto plazo que son necesarios atacar en el desarrollo de este vector

En relación a los objetivos planteados en la Tesis:

Objetivo A – Entender que engloba el Cambio Climático, el Calentamiento Global y cuáles son los principales responsables de su generación

Este objetivo fue abordado por el Capítulo I del Marco Teórico así como también un tema recurrente en las respuestas vertidas por los entrevistados en el Marco Empírico, ya que es la razón por la cual se está analizando este nuevo vector energético.

En el caso de Uruguay el Grupo Asesor entrevistado en el Herramienta II dejó en claro que la realidad actual del país es significativamente mejor que la de varios países del mundo atendiendo a que el 97% de su Matriz de Generación de Electricidad es renovable como observamos en el gráfico 23. Pero más allá de ese hito, existe un compromiso del país para lograr que esto mismo suceda a nivel de la Matriz Primaria para bajar la generación de GEI

El Calentamiento Global es un Cambio Climático pero con la particularidad de que se está produciendo mucho más rápido que otros que se han observado en el pasado y donde el comportamiento de la población mundial es responsable a través de sus decisiones de consumo.

Objetivo B – Describir que son las Energías Renovables y Analizar la situación actual de las Energías Renovables No convencionales en Argentina, Brasil y Uruguay

Se trató la temática de las Energías Renovables en el Capítulo II, donde se analizó en detalle cómo surgieron las distintas fuentes de generación de Energía Renovables, así como los avances que se han producido en los últimos años, convirtiéndola en una fuente de generación cada vez más económica. Logrando de esta forma posicionarse como la alternativa cada vez más importante para combatir la problemática de la generación de CO₂ en la generación de Electricidad.

También en el Capítulo IV se expuso cuales es el potencial eólico y solar que poseen los tres países bajo análisis, como ha sido la implementación de las distintas fuentes de Energía, logrando como en el caso de Uruguay que su Matriz de Generación Energética sea un 97% Renovable en la actualidad.

Todos los entrevistados conocían de primera mano el potencial de recursos eólicos y solares de los países de la región dado que habían participado de forma activa bien sea en la normativa y las diferentes licitaciones como es el caso de los entrevistados en la Herramienta II así como desarrollo y puesta en funcionamientos de este tipo de proyectos como es el caso de los entrevistados en la Herramienta I a través de las respuestas vertidas a las preguntas 2, 5 y 6

En el mencionado Capítulo IV se incluye un análisis de la infraestructura existente en materia de interconexión eléctrica y factores logísticos a considerar.

Objetivo C - Describir el potencial del Hidrógeno Verde como estrategia para disminuir las emisiones de CO₂ y como el “combustible del futuro”.

Si bien todo el desarrollo del trabajo busca dar respuestas y dar a conocer la posibilidad que hay detrás del Hidrógeno Verde como vector energético con el fin de poder alcanzar los objetivos planteados en el Acuerdo de París. En particular el Capítulo III ofrece al lector la posibilidad de entender que es el Hidrógeno, en que se ha usado, cuales son los métodos de producción más utilizados para generarlo. Sobre el final del Capítulo se introduce en el concepto de Hidrógeno Verde y la posibilidad de aplicar el mismo en algunos sectores de la economía donde siempre ha predominado el uso de los recursos fósiles que en su consumo generan CO₂

Tanto en las Herramientas I como II los entrevistados destacan que este vector es hasta ahora el que mejores prestaciones y soluciones ha dado para poder descarbonizar algunos sectores donde históricamente han predominado los recursos fósiles como son el Transporte y la Industria Petro-Química.

Es de tal importancia el potencial que presenta este vector como estrategia para disminuir las emisiones de CO₂ que tanto desde la perspectiva de la demanda, con países como Alemania o Japón que en sus planes de desarrollo y descarbonización requieren más Hidrógeno Verde del que pueden generar. Así como también del lado de la oferta donde hay gran cantidad de países que han trazado hojas de ruta para el desarrollo del mismo, como vimos en el gráfico 17. En la misma línea muchos organismos internacionales como la IEA así como también por el BM, se encuentran promoviendo y financiando proyectos de Hidrógeno Verde, como es el caso de Uruguay donde financia el plan piloto que está llevando adelante.

Objetivo D - Identificar estrategias necesarias para poder desarrollar un Polo de generación de Hidrógeno Verde en los países objetos de análisis.

A partir de las entrevistas realizadas en el Marco Empírico pero por sobre todas la realizada en la Herramienta II esclareció el hecho de que esta temática no está siendo abordada de manera conjunta por los países bajo análisis. Más allá de eso los entrevistados sostuvieron que el lugar donde eso se debería discutir y priorizar es en el marco del Mercosur, mercado que los tres países comparten pero que no ha hecho ningún comentario al respecto.

Si bien se está realizando de forma unilateral los tres han mostrado interés en generar Hidrógeno Verde y poder abastecer mercados que lo demanden, principalmente el Europeo

Este trabajo logró cumplir con los objetivos trazados de abordar la problemática actual que afronta la humanidad con el Calentamiento Global y la posibilidad que ofrece un vector energético como el Hidrógeno Verde como vector energético para descarbonizar en una primera instancia el sector del transporte y de la industria petro-química.

Que el Hidrógeno Verde pueda imponerse como esa solución dependerá principalmente de avances tecnológicos que aún son necesarios para que su utilización también sea económicamente viable. Pero es imposible dejar de mencionar la lucha de intereses económicos y políticos que se librarán a favor y en contra de la implantación de este vector visto que de forma tácita implica dejar de consumir recursos fósiles y habrá productores de los mismos que no estarán muy contentos con ello.

Es de cuantiosa valía contar con la opinión de los Asesores del Gobierno de Uruguay, pero de la misma asumo que difícilmente haya una abordaje en conjunto con los países de la región tal como plantea el trabajo aunque no existe ningún tipo de restricción desde lo técnico.

BIBLIOGRAFIA

- ABEEólica. (2020, agosto). Boletín Anual ABEEólica 2019. http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/07/EN_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019-1.pdf
- ABEEólica | Quem Somos. (s. f.). ABEEólica. Recuperado 21 de marzo de 2021, de <http://abeeolica.org.br/quem-somos/>
- Albornoz, E. A. (2020, 17 noviembre). Opinión: América Latina y El Caribe, una región con gran potencial para el despliegue de las energías. Energía Estratégica. <https://www.energiaestrategica.com/america-latina-y-el-caribe-un-region-con-gran-potencial-para-el-despliegue-de-las-energias-renovables/>
- Banco Mundial. (s. f.-a). *Acceso a la electricidad (% de Población)* [Gráfico 6]. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS>
- Banco Mundial. (s. f.-b). *Consumo de Energía eléctrica (KWh per cápita)* [Gráfico 5]. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC>
- Banco Mundial. (s. f.-c). *Consumo de Energía Renovable (% del consumo de Energía Final)* [Gráfico 8]. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.FEC.RNEW.ZS>
- Berkenwald, M. B., & Bermudez, J. M. B. (2020, 2 noviembre). Latin America's hydrogen opportunity: From national strategies to regional cooperation – Analysis. IEA. <https://www.iea.org/commentaries/latin-america-s-hydrogen-opportunity-from-national-strategies-to-regional-cooperation>
- BID. (2001). Integración Energética en el Mercosur Ampliado. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/37504/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

BID. (2019). Litio en la Argentina. Litio en la Argentina.
<https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/bid-litio-final.pdf>

Bioenergy - Fuels & Technologies. (s. f.). IEA. Recuperado 8 de marzo de 2021, de
<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/bioenergy>

Callejo, D. (s. f.). *ENERGÉTICA DEL HIDRÓGENO: CONTEXTO, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVA DE FUTURO*. Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Recuperado 14 de junio de 2021, de
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/>

Cammesa. (s. f.). *Sistema Argentino de Interconexión* [Imagen 8]. Cammesa.
<https://aplic.cammesa.com/geosadi/>

Centro Nacional del Hidrógeno - España. (s. f.). *Formas de generación de H2* [Imagen 2].
Centro Nacional del Hidrógeno - España. <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/#tab-id-1>

Casas Úbeda, J. M. C. U., & Gea López, F. G. L. (s. f.). Educación medioambiental. Google Books. Recuperado 3 de marzo de 2021, de
https://books.google.com.uy/books?id=JDhoUfDmsvEC&pg=PA165&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Cepel. (s. f.). *Mapa Eólico Brasil (velocidad media anual a 100m)* [Imagen 9]. Cepel.
http://novoatlas.cepel.br/wp-content/uploads/2017/03/4.MapasTematicos-Velocidade100m_es.pdf

Chávez, J. C. (2020, 18 diciembre). Brasil introducirá 45% de renovables a su matriz energética para 2030. *Energía Hoy*. <https://energiahoy.com/2020/12/18/brasil-introducira-45-de-renovables-a-su-matriz-energetica-para-2030/>

Chorny, R. (2018, 10 septiembre). Segunda reserva mundial: Vaca Muerta se llama la gran carta de crecimiento argentino. *BBVA NOTICIAS*.

<https://www.bbva.com/es/segunda-reserva-mundial-vaca-muerta-llama-gran-carta-crecimiento-argentino/>

CIC. (s. f.). *Cuenca del Plata* [Imagen 15]. CIC - Cuenca del Plata.
<https://cicplata.org/es/mapas-de-la-cuenca/>

Collection of Harold G. Dick. (s. f.). *WSU Special Collections: Harold G. Dick Exhibit*.
Wichita State University Libraries. Recuperado 29 de junio de 2021, de
<http://specialcollections.wichita.edu/exhibits/haldick/haldick.html>

DNE. (2011, junio). *Análisis de Rentabilidad para Parques Eólicos en Uruguay*.
<http://www.energi aeolica.gub.uy/uploads/licitacion%202011/evaluacioneconomica web.pdf>

EducAR. (s. f.). *Mapa eólico Argentino* [Imagen 6]. EducAR.
<http://energiasdemipais.educ.ar/fuentes-de-energia-potencial/energia-eolica/>

Empresa de Investigación Energética. (s. f.). *Áreas aptas para la instalación de plantas fotovoltaicas* [Imagen 10]. Empresa de Investigación Energética.
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>

La energía eólica. (2021, 26 febrero). Energías de mi País - EducAr.
<http://energiasdemipais.educ.ar/la-energia-eolica-2/>

Energía Renovable. (2016, 16 febrero). Genneia. <https://www.genneia.com.ar/energia-renovable/>

Energía solar. (s. f.). Solar-Energía. Recuperado 8 de marzo de 2021, de <https://solar-energia.net/>

- Energía solar en Uruguay. (s. f.). Ministerio de Industria, Energía y Minería. Recuperado 29 de marzo de 2021, de <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/programas/energia-solar-uruguay>
- Estrada, F. E., & Canete, I. C. (s. f.). Interconexión Eléctrica Regional | UCL. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado 22 de febrero de 2021, de <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/intercreg/Mercosur.html>
- Fernandez - Bolaños, C. F. B. B. (2005a). *Electrólisis* [Imagen 3]. Energética del Hidrógeno - Contexto, estado actual y perspectivas de Futuro. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/fichero/3.1+Producci%C3%B3n+de+Hidr%C3%B3geno.pdf>
- Fernandez - Bolaños, C. F. B. B. (2005). *Energética del Hidrógeno - Contexto, estado actual y perspectivas de Futuro*. Energética del Hidrógeno - Universidad de Sevilla. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823>
- Fernandez - Bolaños, C. F. B. B. (2005c). *Entradas y salidas del proceso de producción de hidrógeno mediante reformado de vapor* [Imagen 4]. Energética del Hidrógeno - Contexto, estado actual y perspectivas de Futuro. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/fichero/3.1+Producci%C3%B3n+de+Hidr%C3%B3geno.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2013). Quinto Informe de Evaluación Cambio Climático 2013. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
- GWEN. (s. f.). *Capacidad Instalada de Energía Renovables Onshore al 2019* [Gráfico 20]. GWEN. http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/07/EN_Boletim-Anual-de-Gera%C3%A7%C3%A3o-2019-1.pdf

Hidrógeno. (2019, 6 febrero). Centro Nacional de Hidrógeno - España.
[https://www.cnh2.es/el-](https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20es%20el%20primer,es%20ins%C3%ADpido%2C%20incoloro%20e%20inodoro.)

[hidrogeno/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20es%20el%20primer,es%20ins%C3%ADpido%2C%20incoloro%20e%20inodoro.](https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/#:~:text=El%20hidr%C3%B3geno%20es%20el%20primer,es%20ins%C3%ADpido%2C%20incoloro%20e%20inodoro.)

Hidrógeno Verde. (2020, 25 junio). Iberdrola.

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>

Historia: Energía Hidráulica. (2018, 18 mayo). Expo Energía - Mexico. Recuperado 4 de marzo de 2021, de <https://www.exposolucionesenenergia.com/blog/historia-energia-hidraulica.php?m=#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20hidroel%C3%A9ctrica%20debe%20su,ruedas%20hidr%C3%A1ulicas%20de%20hierro%20colado.&text=Las%20presas%20y%20los%20canales,era%20mayor%20de%20cinco%20metros.>

Hydropower - Fuels & Technologies. (s. f.). IEA. Recuperado 8 de marzo de 2021, de

<https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydropower>

IEA. (s. f.-a). *Cadena de Valor de Hidrógeno Verde* [Imagen 5]. IEA.

<https://www.ieahydrogen.org/>

IEA. (s. f.-a). *Cantidad de Países con Políticas de soporte para el Desarrollo de H2 en 2018*

[Gráfico 17]. IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/current-policy-support-for-hydrogen-deployment-2018>

IEA. (s. f.-b). *Costo de generación de H2 en 2018 por cada fuente* [Gráfico 18]. IEA.

<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

IEA. (s. f.-i). *Generación de Electricidad por Otras Fuentes Renovables en el Mundo*

[Gráfico 16]. IEA. [.https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Renewables%20and%20waste&indicator=WasteGenBySource](https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Renewables%20and%20waste&indicator=WasteGenBySource)

- IEA. (s. f.-a). *Energía Eléctrica generada con recursos Eólicos en el Mundo* [Gráfico 11].
IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Renewables%20and%20waste&indicator=WindGen>
- IEA. (s. f.-b). *Energía Eléctrica generada con recursos Hidráulicos en el Mundo* [Gráfico 15].
IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Renewables%20and%20waste&indicator=HydroGen>
- IEA. (s. f.-b). *Energía Eléctrica generada con recursos Solar en el Mundo* [Gráfico 12].
IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Renewables%20and%20waste&indicator=SolarGen>
- IEA. (s. f.-a). *Energía generada por las distintas fuentes* [Gráfico 7]. IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource>
- IEA. (s. f.-a). *Generación de CO₂ dentro del Sector Energía y generación de Calor* [Gráfico 2].
IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2EleBySource>
- IEA. (s. f.). *Generación de CO₂ por Sector* [Gráfico 1]. IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>
- IEA. (s. f.-i). *Generación de Electricidad por Otras Fuentes Renovables en el Mundo* [Gráfico 16].
IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Renewables%20and%20waste&indicator=WasteGenBySource>

- IEA. (s. f.-j). *Matriz Energética Argentina* [Gráfico 19]. IEA. <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=ARGENTINA&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>
- IEA. (s. f.-c). *Generación de CO₂ dentro del Transporte* [Gráfico 3]. IEA. <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>
- IEA. (s. f.-l). *Top 25 países en generación de energía eléctrica a partir de eólica y solar en 2018* [Gráfico 23]. IEA. <https://www.ute.com.uy/noticias/generacion-de-energias-renovables-uruguay-cuarto-en-el-mundo>
- IPCC. (s. f.). *Fifth Assessment Report - Climate Change 2013*. Recuperado 29 de junio de 2021, de https://archive.ipcc.ch/report/ar5/wg1/index_es.shtml
- IRENA. (s. f.). *Capacidad Instalada en el Mundo de tecnologías Renovables 2018* [Gráfico 9]. IRENA. <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies>
- IRENA. (s. f.-b). *Capacidad Instalada por año en (GW) de Energía Eólica y Solar* [Gráfico 13]. IRENA. <https://www.irena.org/costs/Charts/Solar-photovoltaic>
- IRENA. (s. f.-c). *Comparación entre Energía Eólica y Solar por Costo de Instalación, Factor de Capacidad y LCOE* [Gráfico 14]. IRENA. <https://www.irena.org/costs/Charts/Solar-photovoltaic>
- IRENA. (s. f.-b). *Electricidad Generada en el Mundo de tecnologías Renovables 2018* [Gráfico 10]. IRENA. <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies>

La Nación. (1997, 6 mayo). *A 60 años del drama del Hindenburg*. LA NACION.
<https://www.lanacion.com.ar/el-mundo/a-60-anos-del-drama-del-hindenburg-nid68364/>

León, C. D. J. Y. (s. f.). Historia del petróleo. Junta de León y Castilla. Recuperado 4 de marzo de 2021, de <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/historia-petroleo.html>

Mapa de recuso Eólico Uruguay a 90m de altura Fuente: MIEM. (s. f.). [Imagen 12]. MIEM.
<http://www.energiaeolica.gub.uy/index.php?page=mapa-eolico-de-uruguay>

Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. (2020, Noviembre). ESTRATEGIA NACIONAL DE HIDRÓGENO VERDE - CHILE 2020.
https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf

Ministerio de Industria Minería y Energía. (s. f.). *Mapa de recuso Solar promedio anual en Uruguay* [Imagen 13]. MIEM.
https://www.miem.gub.uy/sites/default/files/mapa_solar.pdf

Ministerio de Minas y Energía de Brasil & Empresa de Investigación Energética. (s. f.). *Evolución esperada de la expansión de la fuente eólica en el escenario del desafío de expansión* [Gráfico 21]. Empresa de Investigación Energética.
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>

Ministerio de Minas y Energía de Brasil & Empresa de Investigación Energética. (s. f.). *Evolución esperada de la expansión de la fuente solar PV en el escenario del desafío de expansión* [Gráfico 22]. Empresa de Investigación Energética.
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>

- Ministerio de Minas y Energía y Empresa de Pesquisa Energética. (2020). Plano Nacional de Energía 2050. Ministerio de Minas y Energía - Brasil. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>
- Monográficos Hispagua: Energía hidráulica. (2007, junio). Hispagua. http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/energia_hidr/la_origen.htm
- Nuclear Power in a Clean Energy System – Analysis. (2019). IEA. <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>
- ONS. (s. f.). *Mapa de Sistema de Transmisión Brasil* [Imagen 11]. ONS. http://www.ons.org.br/PublishingImages/paginas/Setembro2019_Mapa%20Sistema%20de%20Transmissao.jpg
- Other renewables - Fuels & Technologies. (s. f.). IEA. Recuperado 8 de marzo de 2021, de <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/other-renewables>
- Our World Data. (s. f.). *Porcentaje de Generación de CO₂ dentro del Transporte* [Gráfico 4]. Our World Data. <https://ourworldindata.org/co2-emissions-from-transport>
- Panorama del mercado energético en Brasil. (2020, junio). Metron. <https://www.metronlab.com/es/blog/panorama-del-mercado-energ%C3%A9ticode-la-energ%C3%ADa-en-el-brasil>
- Portillo, S. R. (2020, 24 abril). ¿La energía nuclear es renovable? Ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/la-energia-nuclear-es-renovable-2718.html#:~:text=La%20respuesta%20es%20que%20la,la%20reacci%C3%B3n%20de%20fisi%C3%B3n%20nuclear.>

¿Qué beneficios tiene la energía eólica? | ACCIONA | Business as unusual. (s. f.). Acciona. Recuperado 4 de marzo de 2021, de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/>

¿Qué es la energía nuclear? (2020, 2 junio). Foro Nuclear. <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/que-es-la-energia-nuclear/>

Solargis. (s. f.). *Mapa recurso Solar Argentino GHI (Global Horizontal Irradiation)* [Imagen 7]. Solargis. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SolarGIS-Solar-map-Argentina-en.png>

Suficientes reservas de uranio para cubrir la demanda futura del parque nuclear mundial. (2020, 25 mayo). Foro Nuclear. <https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/suficientes-reservas-de-uranio-para-cubrir-la-demanda-futura-del-parque-nuclear-mundial/#:%7E:text=Seg%C3%BAAn%20el%20Libro%20Rojo%2C%20las,que%20ya%20hab%C3%ADan%20sido%20identificados.>

The Future of Hydrogen – Analysis. (2019, junio). IEA. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

Taylor, G. R. (1989). *The Transportation Revolution, 1815–1860*. M.E. Sharpe. <https://doi.org/10.1086/ahr/57.3.701>

United Nations. (s. f.-a). Antecedentes | PNUD. Recuperado 9 de abril de 2021, de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/background.html>

United Nations. (s. f.-a). Cambio climático | Naciones Unidas. Recuperado 5 de abril de 2021, de <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>

United Nations. (s. f.). El Acuerdo de París | Naciones Unidas. Recuperado 26 de febrero de 2021, de <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

United Nations. (s. f.-c). ¿Que es el Protocolo de Kyoto? Recuperado 6 de abril de 2021, de https://unfccc.int/es/kyoto_protocol

UTE. (s. f.-a). *Mapa de Sistema de Transmisión Uruguay* [Imagen 14]. UTE. https://www.ieee-pes.org/presentations/TD-LA-2012/Gonzalo_Casaravilla-Spanish.pdf

UTE. (s. f.). Portal UTE | La energía que nos une. Recuperado 26 de marzo de 2021, de <https://www.ute.com.uy/noticias/generacion-de-energias-renovables-uruguay-cuarto-en-el-mundo>

US NAVY. (s. f.). *Accidente LZ Hindenburg* [Imagen 1]. Accidente LZ Hindenburg.

Villatoro, F. R. (2018, 24 octubre). Cuánto durarán las reservas de uranio al ritmo actual de consumo. La Ciencia de la Mula Francis. <https://francis.naukas.com/2009/03/05/cuanto-duraran-las-reservas-de-uranio-al-ritmo-actual-de-consumo/>

WASTE Magazine. (s. f.). *Energía hidroeléctrica*. Recuperado 29 de junio de 2021, de <https://wastemagazine.es/hidroelectrica.htm>

World Resources Institute. (s. f.). Resource Watch. Recuperado 29 de junio de 2021, de <https://resourcewatch.org/data/explore?section=All+data&selectedCollection=&zom=3&lat=0&lng=0&pitch=0&bearing=0&basemap=dark&labels=light&aoi=&page=1&sort=most-viewed&sortDirection=-1&topics=%255B%2522coast%2522%255D>