

El desafío energético

Hacia un futuro sostenible

S.Gil

Mayo 2024

Escuela de Ciencia y Tecnología – Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina

sgil@unsam.edu.ar

Capítulo 2

- ✚ *Energía y Potencia*
- ✚ *Energía Primaria, secundaria o final, Energía útil y servicios energéticos*
- ✚ *Matriz energética nacional y mundial. Vectores energéticos o “Carriers” energéticos*
- ✚ *Conocer cómo se genera la electricidad. Matriz eléctrica de un país y del mundo*
- ✚ *El petróleo como combustible principalmente del transporte*
- ✚ *Ahorro, uso racional de la energía y la eficiencia energética. Eficiencia y eficacia.*
- ✚ *Ambigüedades para determinar cuánta energía se “desperdicia” en la economía.*
- ✚ *Gases de efecto Invernadero. Emisiones de CO₂ equivalente.*
- ✚ *Fuentes de datos energéticos. Datos estadísticos y de energía de distintos países del mundo y de Latino América y Argentina en particular*

Potencia y Energía

“Hoy en día, desde el punto de vista de la física, no sabemos qué es realmente la energía...lo que sí sabemos es que la energía se manifiesta en multitud de formas que se relacionan entre sí mediante numerosos mecanismos de conversión”

Richard Feynman (Premio Nóbel de Física 1965 “The Feynman Lectures on Physics”)

La definición más tradicional, pero quizás poco precisa, es señalar que la energía es la capacidad que tiene un sistema para realizar trabajo. Otra propuesta, tal vez más general, consiste en decir que energía es todo aquello que eventualmente puede transformarse en calor. Se realiza un trabajo sobre un cuerpo cuando por aplicación de una fuerza el mismo se desplaza, por ejemplo, cuando levantamos un libro del suelo y lo colocamos sobre la mesa. En este caso debemos hacer una fuerza por lo menos igual a su peso y lo desplazamos a la altura de la mesa. A su vez, decimos que el libro sobre la mesa tiene energía potencial que puede ser transformada en otra forma de energía. Por ejemplo, si cae al piso, a medida que cae su energía potencial se transforma en energía cinética (asociada a su velocidad). Al llegar al piso esta energía cinética se transforma en calor, deformación del cuerpo, energía sonora, etc. Una característica básica de la energía es que ella se transforma de una forma a otra, pero siempre se conserva. Todos los experimentos realizados hasta el presente muestran que en todas sus transformaciones la energía que tenemos antes o después de

cualquier proceso, es siempre la misma. La conservación de la energía es justamente lo que conocemos como el *primer principio de la termodinámica*.

Como vimos en el capítulo anterior, la energía se mide en Joules (J), calorías (cal), kilowatt hora (KWh) o también en BTU (1 BTU=1055 J= 252 cal= 291 kWh). La potencia es el trabajo que se realiza en la unidad de tiempo, se mide en Watt (W= J/s). Por ejemplo, si una persona de 70 Kg sube 4 pisos (10m), el trabajo realizado será de aproximadamente $W=70\text{kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m} \approx 7000 \text{ J}$. Una persona bien entrenada puede hacerlo en 30 segundos mientras otra menos entrenada quizás lo hace en 60 segundos. La primera desarrolla una potencia de 233 W y la segunda de 115 W. Comúnmente, una persona bien entrenada puede realizar alrededor de unos 250 W sólo por unos pocos minutos. En general, la potencia que una persona normal puede desarrollar a lo largo de varias horas es del orden de unos 20 a 40 W. Un caballo puede producir una potencia cercana a 1000 W (kW) en condiciones de régimen. Es interesante comparar estas potencias con las que consumimos en una casa pequeña. Si tenemos 3 lámparas LED encendidas (30 W), una heladera (50W), un televisor (50W) y una computadora (50W), estaríamos consumiendo unos 180 W, es decir la potencia producida por unas 9 personas. Un automóvil compacto, tiene una potencia de unos 150 kW ¡equivalente a la potencia de unos 3750 hombres! Si calculamos el trabajo total que puede hacer una persona trabajando 8 horas diarias por un año, su valor es de unos 80 kWh (o sea 216 000 000 J). Esta energía equivale al contenido energético de 7 litros de nafta o a 8,3 m³ de gas natural. A los precios de mercado el trabajo mecánico producido por un hombre en un año costaría unos 8 U\$S si se lo mide en litros de nafta o a 2 U\$S si se lo compara con m³ de gas natural.

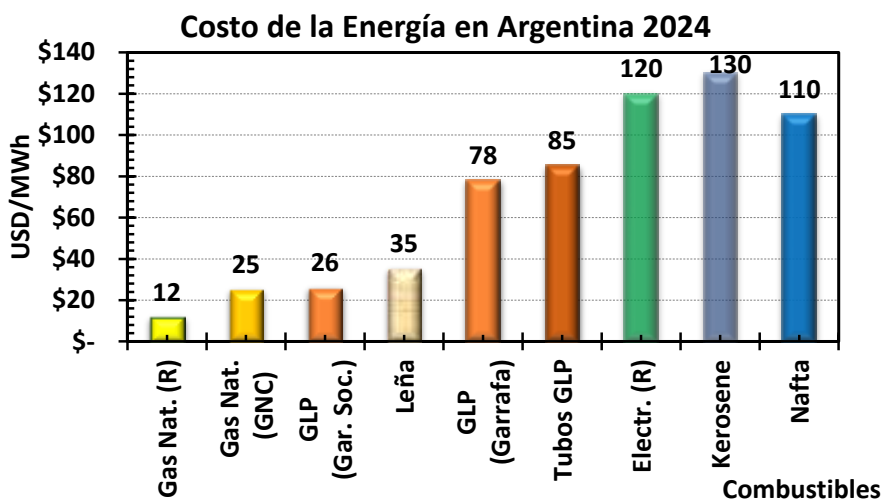


Fig. zz.1. Comparación del precio de un MWh de energía de varios combustibles y electricidad, a valores de mercado en Argentina a abril de 2024. Un MWh equivale a unos 94 m³ de gas natural o 100 litros de nafta. Es claro que en Argentina el gas natural es el combustible más económico. La garrafa social, resulta económica gracias a los subsidios, pero claramente no es accesible a todos.

Otra relación interesante está asociada a la energía que una persona necesita para vivir. Un hombre adulto debe consumir aproximadamente una 2500 kcal diarias. Por lo tanto, esta es la energía que esa persona gasta en realizar trabajo mecánico (caminar, trabajar, bombear sangre, etc.) y mantener su cuerpo a 37°C. Si calculamos la potencia media que una persona consume,

dividiendo el consumo diario total de energía por el tiempo (24horas), obtenemos una potencia media de unos 120W. Si suponemos que en promedio gastamos unos 20 W en realizar trabajo mecánico, vemos que una persona debe disipar el resto (100 W) en forma de calor. Por esta razón, cuando estamos en un lugar con muchas personas, colectivo o tren, percibimos claramente el calor que producimos. Unas 10 personas emiten aproximadamente tanto calor como una estufa de cuarzo de 1 kW.

Energía en el mundo- Historia

Se estima que la *revolución agrícola-ganadera* acaecida durante el neolítico, hace unos 10,000 años, multiplicó la población del mundo en un factor del orden de 50 al cabo de pocos milenios, previo a la aparición de las grandes civilizaciones de la antigüedad. Otro evento de características comparables, ocurrió en los últimos dos siglos. A fines del Siglo XVIII y comienzos del XIX, la humanidad logra transformar la energía de los combustibles (leña y después carbón mineral) en energía mecánica y trabajo. Lo posibilita poner al servicio de la producción, grandes cantidades de energía. Esto precipita la *revolución industrial* de principios del siglo XIX, que se extendió por el oeste de Europa y cruzó el Atlántico hasta los Estados Unidos de América. Más tarde se extendió por el resto del planeta. El mundo occidental durante los siglos XIX y XX estuvo caracterizado por el incremento de la productividad y el desarrollo capitalista de la industria. Estos cambios estuvieron acompañados por el crecimiento de la población en general (Figura zz.2) y el crecimiento de las grandes ciudades, en particular. El desarrollo industrial provocó, además de un vertiginoso movimiento de personas desde las áreas rurales a las ciudades. En grado considerable, las ideologías políticas del siglo XX emergieron de las tensiones económicas provocadas por la revolución industrial.

Desde una perspectiva más amplia, la revolución industrial está lejos de haber concluido. Conforme se extiende a nuevos países, sus efectos económicos, políticos y sociales suelen ser tan drásticos como los que ocurrieron en los siglos XIX y XX en Europa y los Estados Unidos de América, pero con las consecuencias adaptadas a las circunstancias locales y temporales. Solo tenemos que posar nuestra mirada en el asombroso crecimiento y transformación que está ocurriendo en naciones como China, India y otros países de Asia a partir de los años 1980, para percibir la magnitud de estas transformaciones.

El ritmo de cambio en los países recién industrializados puede ser aún más drástico porque las olas sucesivas de innovación llegan en menores tiempos. Desde luego, el uso intensivo de la energía, primero con la máquina a vapor, y más tarde por un sinnúmero de nuevos desarrollos, permitieron aumentar el nivel de bienestar de una fracción importante de la población del planeta. La Figura ZZ.2 muestra la variación de población y riqueza en el mundo durante el último milenio. Esta figura revela que, en los últimos dos siglos, caracterizados por la ocurrencia y consolidación de la revolución industrial, la población del mundo aumentó en un factor 10 y el ingreso per cápita ¡creció en un factor 16!

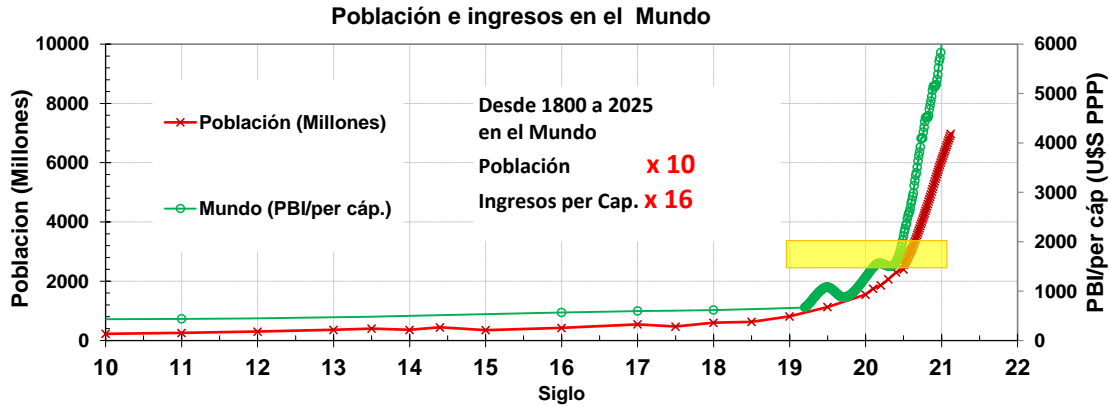


Figura ZZ.2. Variación de la población mundial e ingreso per cápita en el mundo durante el último milenio. Durante los últimos dos siglos, caracterizados por la ocurrencia y consolidación de la revolución industrial, la población del mundo aumentó en un factor 10 y el ingreso per cápita creció en un factor 16. Datos de ingresos esta expresado en U\$S dólares PPP (Parity Purchase Power) que permite comparas ingresos en distintos periodos históricos, datos tomados de las Ref.([1] y [2])

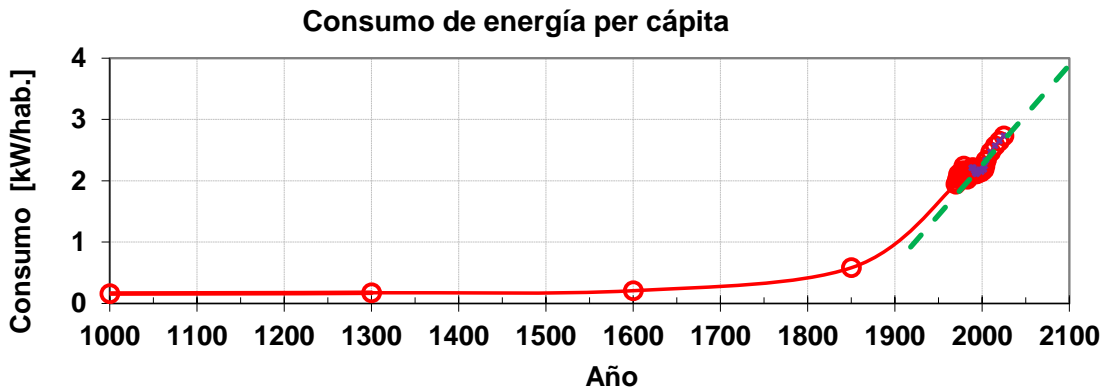


Figura ZZ.3 Variación del consumo de energía promedio per cápita a lo largo de la historia. Datos tomados del trabajo “Future of Energy” C. Rubbia. [3] La línea verde de puntos es un modelo de proyección lineal, suponiendo que las tendencias actuales se mantienen como hasta ahora en las próximas décadas, esto es un modelo tendencial o de “business as usual” o BAU. Es decir, si no se adoptan políticas activas, este sería el sendero de crecimiento del consumo per cápita con el tiempo.

En la Figura ZZ.3 se muestra la evolución del consumo promedio de energía per cápita a lo largo de la historia.ⁱⁱ Obsérvese que a partir del siglo XX el consumo de energía ha tenido un crecimiento notable. El uso del fuego fue uno de los grandes inventos de nuestra civilización. Posibilitó la cocción de los alimentos y la calefacción necesaria para subsistir en regiones frías. La leña fue el primer combustible usado por el hombre. Las antiguas civilizaciones descubrieron la posibilidad de usar el viento para impulsar sus embarcaciones y mover molinos de viento. Con el advenimiento de la revolución industrial, el uso de combustibles fósiles se incrementó notablemente. Primeramente, se usó el carbón mineral, luego el petróleo y más recientemente el gas natural. La Figura zz.4 muestra la evolución de la matriz energética mundial.

ⁱⁱ La energía media per cápita se expresa de varias maneras. Un es expresar los MWh/año por persona, otra es tener en cuenta las horas en el año y expresarla en kW/hab, la relación de estas unidades es: 1 MWh/año.hab=0,114 kW/hab

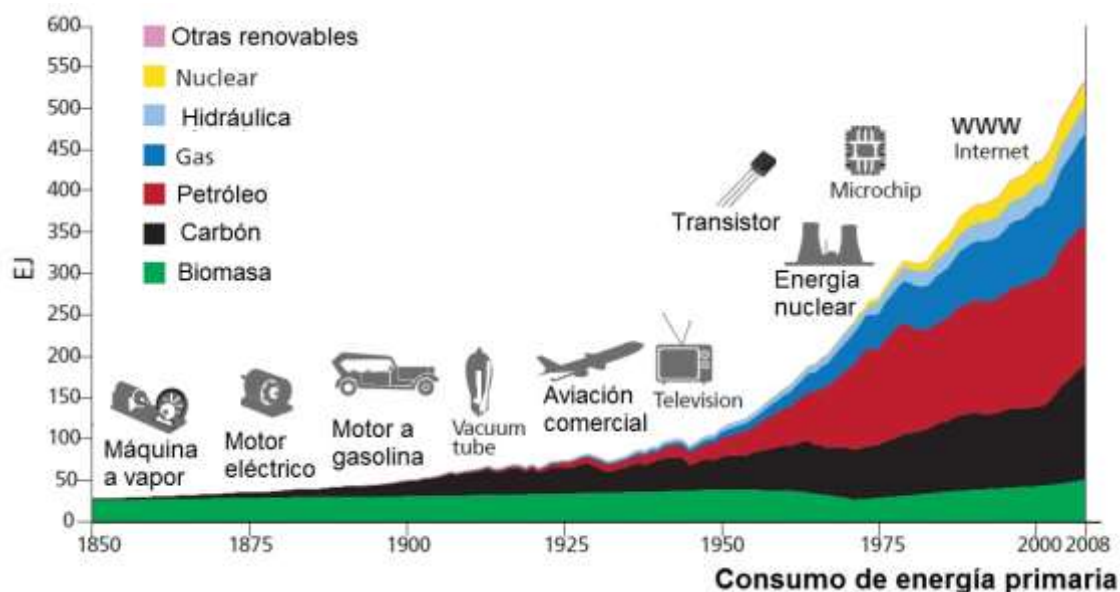


Figura ZZ.4. Evolución del uso de recursos energéticos a lo largo de la historia en el mundo. La leña era el combustible dominante antes de la revolución industrial, cuya primera fase tuvo como combustible el carbón (mineral). La segunda etapa de la revolución industrial estuvo dominada por el petróleo. En la etapa que estamos viviendo, el gas natural se insinúa como el combustible preferido. El gas se usa mayormente para producir electricidad, la energía de las nuevas tecnologías. [4], [5]

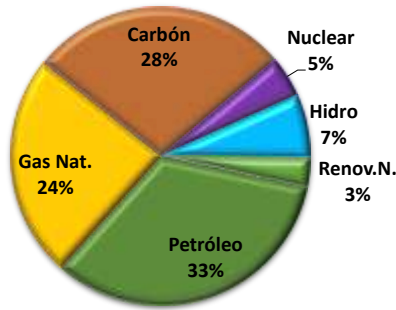
En la Figura zz.4, se muestra la evolución de la energía primaria, y sus distintas componentes o diferentes fuentes de energía en ExaJoulesⁱⁱⁱ (EJ=1x10¹⁸ J). La biomasa se refiere a la leña tradicional, en las décadas más recientes, también incluye a la biomasa moderna que representa en la actualidad una cuarta parte del total de biomasa. Las nuevas energías renovables, indican las nuevas alternativas que han surgido en las últimas décadas, eólica, solar fotovoltaica, etc.

Matriz energética

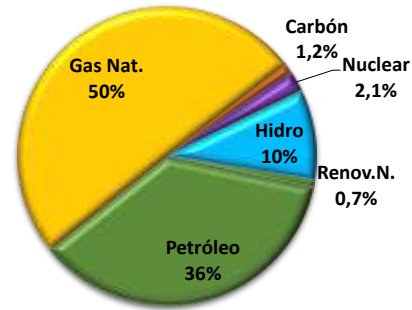
Tradicionalmente, las fuentes de energía se clasifican en *primarias* y *secundarias*. [6] Las fuentes primarias son aquellas que se extraen directamente de la naturaleza (leña, carbón, petróleo, gas, etc.) o bien no se obtienen a partir de otras fuentes, por ejemplo, nuclear, hidráulica, solar o eólica. Las fuentes *secundarias* o *finales* son productos energéticos que no se extraen directamente de la naturaleza y que en general se obtienen usando fuentes primarias, por ejemplo, electricidad, gasoil, fueloil, nafta, kerosén, gas licuado o GLP, etc. En la Figura ZZ.5 se ilustra la producción de energía primaria para el año 2016 en la República Argentina y el mundo. Es interesante notar que ambas matrices energéticas son fuertemente dependientes de los combustibles fósiles. El petróleo y el gas contabilizan cerca del 87% de la energía que producimos y consumimos.

ⁱⁱⁱ La unidad que generalmente se usa para cuantificar grandes cantidades de energía, como el consumo anual de energía mundial o de un país, en el Sistema Internacional es el ExaJoule (EJ)= 10¹⁸ J. Otra unidad usual para este fin es el Cuatrillón de BTU o Quad=10¹⁵ BTU. Por fortuna, ambas unidades son muy similares ya que 1 Quad= 1,055 EJ, por lo tanto, dada la incerteza de las mediciones y predicciones, podemos tomar 1 Quad ≈ 1 EJ. Otra unidad muy usual es el PJ=10¹⁵ J.

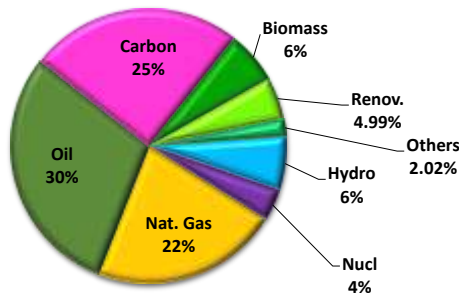
Energías Primarias Mundo 2016



Energías Primarias Argentina 2016



Primary Energy Matr. World 2022



Primary Energy Matrix - RA 2022

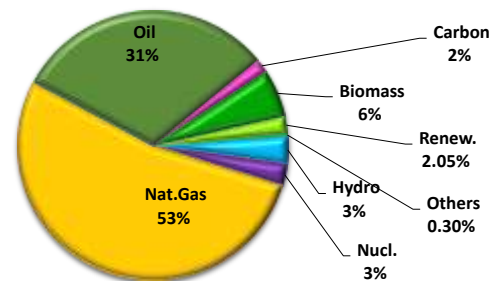


Figura zz.5. Matriz energética primaria del mundo (izquierda) y Argentina (derecha). Arriba, para el año 2016 y abajo para el año 2022. Fuente de los datos: Secretaria de Energía de la Nación. [7], [6]

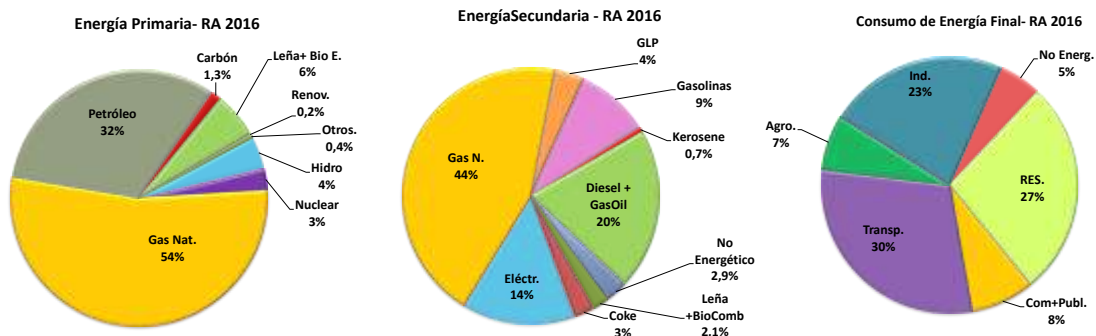


Figura zz.6. Matriz energética primaria de Argentina (derecha) para el año 2016. Distribución de la energía secundaria o final para el mismo año (centro). A la derecha se muestra la distribución de la energía secundaria según su uso final. Los datos corresponden a la Argentina para el año 2016. *Agro* indica el uso de energía en actividades agropecuarias, *Com.* y *Publ.* indica la componente de uso comercial y en instituciones públicas gubernamentales o privadas. *No Energ.* indica el uso de productos energéticos como materia prima para la producción de insumos (plásticos, fertilizantes, etc.). [6]

Asimismo, es útil conocer cómo se emplea la energía entre sus diversos usos finales, como se ilustra en la Figura zz.6. Esta figura, la torta de la derecha, muestra la distribución según su uso final de la energía secundaria. Los sectores en que se clasifican los usos finales son: *Residencial o domestico*: esta es la energía que usamos en nuestras viviendas para los diversos fines; *Comercial y Público*: se refiere a la energía usada en los comercios, centros comerciales, etc. y en edificios públicos como escuelas, ministerios, universidades, etc.; *Industrial* es la energía usada en la producción industrial; *Agro*: se refiere a la energía usada en la producción agrícola y ganadera. *No*

Energética se refiere al uso de insumos energéticos como materia prima para producir otros productos, por ejemplo: plásticos, medicamentos, fertilizantes, etc. *Transporte* es la energía que usamos en todos los medios de transportes: autos, camiones, buses, barcos, aviones, etc.

Una forma de ilustrar todo el flujo de energía desde sus fuentes primarias hasta su uso final es mediante el uso de diagramas Sankey. [8]. Las Figuras ZZ.7 y 8 ilustran los diagramas correspondientes al mundo y Argentina para el año 2011.

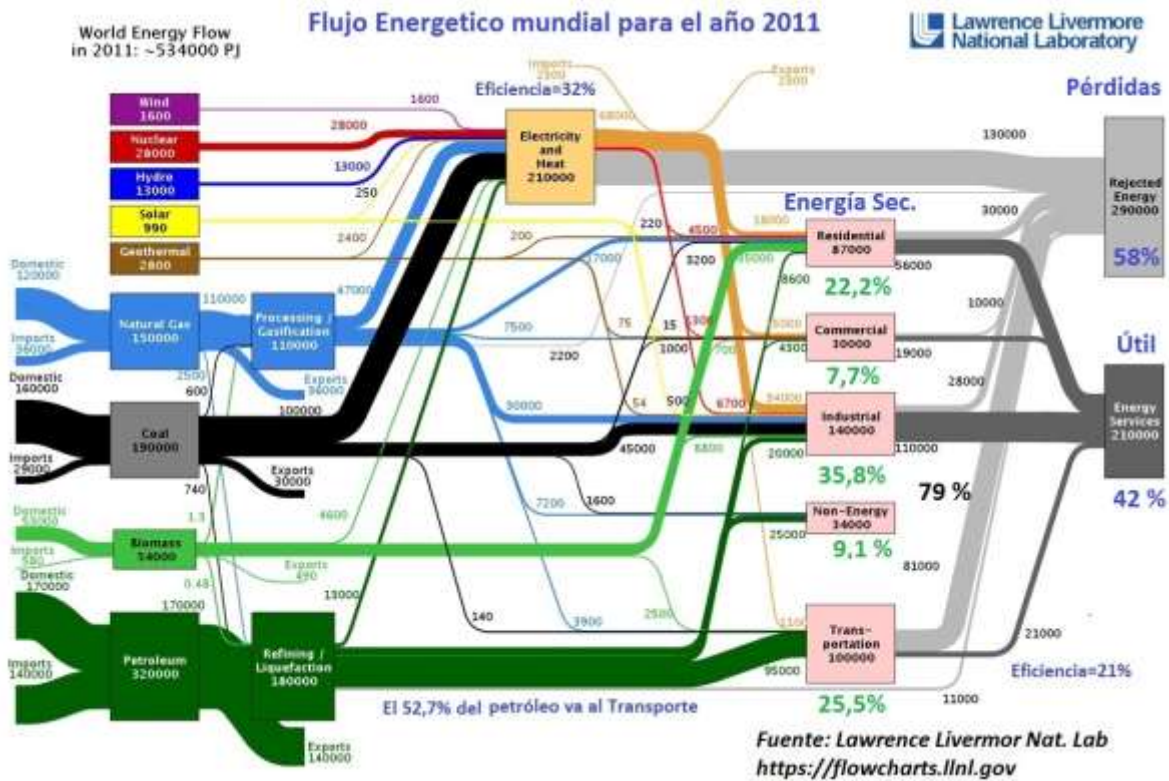


Figura ZZ.7. Diagrama de Sankey flujo de la energía mundial para el año 2011. Desde las fuentes de energía primaria, indicadas a la izquierda, hasta su uso final, que se muestra a la derecha. En el diagrama también se indica la energía que efectivamente va a los servicios y la que se pierde por distintos tipos de ineficiencia (*Rejected Energy*). En estos diagramas el ancho de la línea es proporcional a la cantidad de energía que de un bloque a otro. En el caso del petróleo, se observa que 52,7% se emplea en transporte. Sin embargo, la fracción de energía útil que va a las ruedas es en promedio del 20% a nivel mundial. [9]. Obsérvese que el carbón va fundamentalmente la generación eléctrica. En las centrales electricas, las pérdidas son del orden del 60%, de hecho, la eficiencia media de conversión de energía primaria en electricidad en este caso es del 32%. El petróleo va fundamentalmente al transporte, 52,7%, con una eficiencia de uso del 20%. La fracción de energía primaria que se usa en generar electricidad es del 39%, sin embargo, la electricidad efectivamente generada, es solo del 12,7% de la energía primaria total; debido a su relativamente baja eficiencia de conversión del 32%.

En estos diagramas se puede ver como cada componente de la energía primarias se va transformando y como es finalmente usada en los diferentes sectores de la vida económica. Un hecho notable, es que, tanto en el mundo como en Argentina, casi un 60% de la energía es desperdiciada (*rejected*) en distintos tipos de ineficiencias de transformación. También se puede ver el rol central de la electricidad, como se genera, cuál es su eficiencia, su participación que a nivel mundial es del 33% y finalmente como se usa. Una descripción detallada es estos diagramas se puede encontrar en la ref. [10].

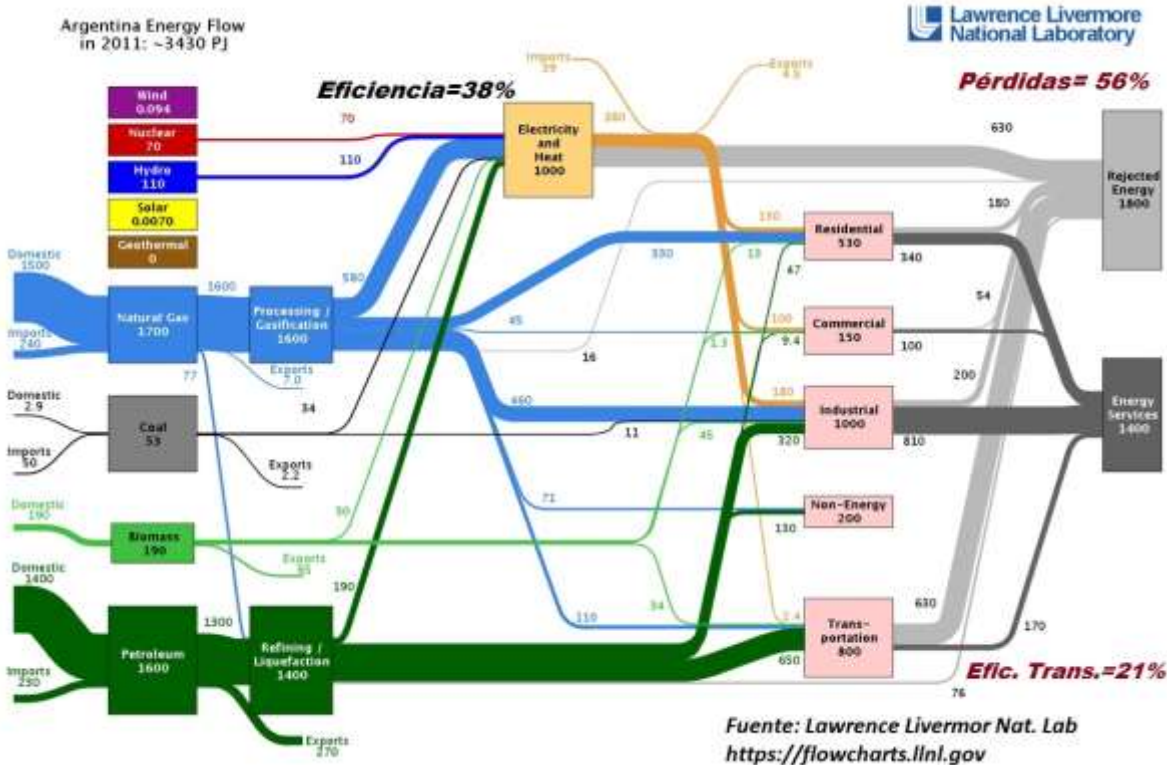


Figura ZZ.8. Diagrama Sankey de flujo de la energía de la República Argentina para el año 2011. Desde las fuentes de energía primaria, indicadas a la izquierda, hasta su uso final, que se muestra a la derecha. En el diagrama también se indica la energía que efectivamente va a los servicios y la que se pierde por distintos tipos de ineficiencia (Rejected Energy). En el caso del petróleo, se observa que 50% se emplea en transporte en este país. [9] En la Página de Datos Abiertos de Energía de Argentina, [6] se pueden encontrar los diagramas de Sankey para este país para años más recientes. La fracción de energía primaria que se usa en generar electricidad es del 29%, sin embargo, la electricidad efectivamente generada, es solo del 11% de la energía primaria total; la eficiencia de conversión en Argentina es del 38%.

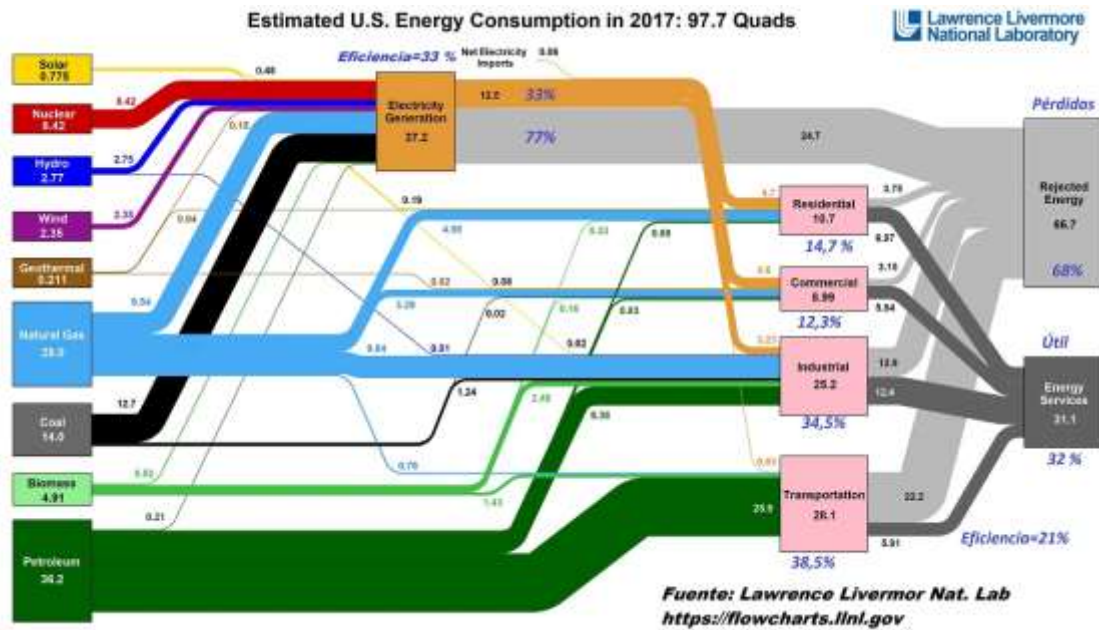


Figura ZZ.9. Diagrama Sankey de flujo de la energía para EE.UU. para el año 2017. Desde las fuentes de energía primaria, indicadas a la izquierda, hasta su uso final, que se muestra a la derecha. En el diagrama también se indica la energía que efectivamente va a los servicios y la que se pierde por distintos tipos de ineficiencia (*Rejected Energy*). En el caso del petróleo, se observa que 72% se emplea en transporte en este país. [9] La fracción de energía primaria que se usa en generar electricidad es del 38%, sin embargo, la electricidad efectivamente generada, es solo del 12,8% de la energía primaria total; la eficiencia de conversión en EE.UU. es del 33%.

Vectores energéticos – Electricidad

Un *vector energético*, portador o “*carrier*” energético, es una sustancia o un sistema energético que contiene energía, que luego se puede convertir a otras formas de energía o trabajo mecánico o calor. Ejemplo de vectores energéticos son: resortes, baterías eléctricas, condensadores, la electricidad, aire comprimido, agua en un embalse, el hidrógeno, etc. La energía contenida en el vector, fue suministrada previamente por una fuente primaria o secundaria. Por ejemplo, la electricidad debemos generarla usando alguna fuente primaria, lo mismo que la energía de una batería o la contenida en un resorte. Si tomamos un punto de vista más general, y tiempos geológicos más extensos, podemos decir que tanto el carbón, como el petróleo o el gas y la leña, son también vectores energéticos, que fueron acumulando la energía solar que posibilitó la fotosíntesis, y después de millones de años se transformaron en los combustibles fósiles.

Uno de los vectores energéticos más útil e importante en nuestros días es la electricidad. La gran ventaja de la electricidad es que se puede transportar fácilmente por largas distancias, y es fácil de transformarla en otras formas de energía (movimiento, calor, luz, etc.) y siendo la energía característica de las nuevas tecnologías. De hecho, es el insumo de más rápido crecimiento en todo el mundo. El transporte y distribución por supuesto tienen una eficiencia menor a 100%, en Argentina este valor es del orden del 88% y en EE.UU. del orden del 94%.

Eficiencia y Eficacia^{iv}

Cuando transformamos una forma de energía en otra distinta, algo de energía se pierde. Por ejemplo, cuando usamos carbón mineral para generar electricidad en una central térmica, típicamente solo se transforma en electricidad el 30% de la energía contenida en el carbón, el resto se pierde por la chimenea en forma de calor. En general la eficiencia de transformación de calor a energía mecánica o eléctrica está limitada por el segundo principio de la termodinámica. La *eficiencia* se define como el cociente entre la energía útil extraída de un proceso y la empleada en producirla.

$$Eficiencia = \varepsilon = \frac{Energía\ útil}{Energía\ empleada} \quad (zz.1)$$

Cuando usamos alguna energía primaria para generar electricidad, siempre hay una eficiencia que es menor que 1. En la Tabla zz.1 se indican algunas fuentes de generación eléctrica y sus eficiencias típicas.

		Factor de emisión de CO ₂ por oxidación (quema) del combustible	Factor de emisión de CO ₂ por generación eléctrica
Tipo de centrales eléctricas	Eficiencias %	Emisiones kg(CO ₂)/MWh	Emisiones kg(CO ₂)/MWh
Carbón (central Térmica)	31%	358	1.156
Petróleo (central Térmica)	35%	265	749
Gas (ciclo Combinado)	55%	202	456
Nuclear	33%		0
Hidroeléctrica **	90%		0
Eólica	45%		0
Solar Fotovoltaica	20%		0

Tabla ZZ.1 Principales fuentes de generación eléctrica y sus eficiencias típicas. La tercera columna indica las emisiones que se obtienen en la quema de los combustibles, mientras que última columna indica los kg de CO₂ emitidos por cada MWh de electricidad producido con esa central. En el caso de las centrales hidroeléctricas, es un valor nominal, sin embargo, las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente el metano de estas centrales es motivo de gran debate. [11]

Asimismo, en la Tabla zz.1 se muestran las emisiones de CO₂ que se generan tanto en la quema directa de algunos combustibles como en la generación de electricidad. Nótese, que tanto la quema de carbón como la generación de electricidad con este combustible son las más elevadas. Por otro lado, el gas natural es el menos contaminante de todos los combustibles fósiles, lo cual es consecuencia de su relativamente baja emisión de CO₂ y de las altas eficiencias de las centrales a gas de ciclo combinado, que alcanzan valores del orden del 58%.

Dada la relevancia del sector eléctrico en todas las economías del mundo, resulta útil estudiar su composición, es decir cómo se genera la electricidad a partir de las fuentes primarias.

^{iv} Se define eficacia como “la capacidad de obtener el efecto que se desea o se espera”, mientras que la eficiencia es “la capacidad de cumplir un objetivo con los recursos disponibles”. Se puede ser muy eficiente pero no eficaz, si no se plantea correctamente el objetivo. Y se puede ser eficaz pero no eficiente, si se obtiene el objetivo desperdiciando recursos. Es importante ser eficaz y eficiente.

Esto se denomina también la *matriz eléctrica* de un país. Nótese que, tanto en Argentina como en el mundo, Figuras zz.7 a la 9, la electricidad efectivamente generada constituye alrededor del 13% del total de la energía primaria, sin embargo, es un sector clave en la economía y los servicios. Por otro lado, la fracción de energía primaria destinada a generarla es del orden del 39%, con una eficiencia cercana al 32%, en la mayoría de los países. Esta situación es similar en muchos países del mundo. En la Figura zz.9 se muestra la matriz eléctrica de Argentina y el mundo para el año 2017. Como se ve, a diferencia del mundo, nuestra matriz energética tiene muy poco carbón, pero mucho de gas. Esto hace nuestra matriz energética relativamente limpia comparada con otros países.

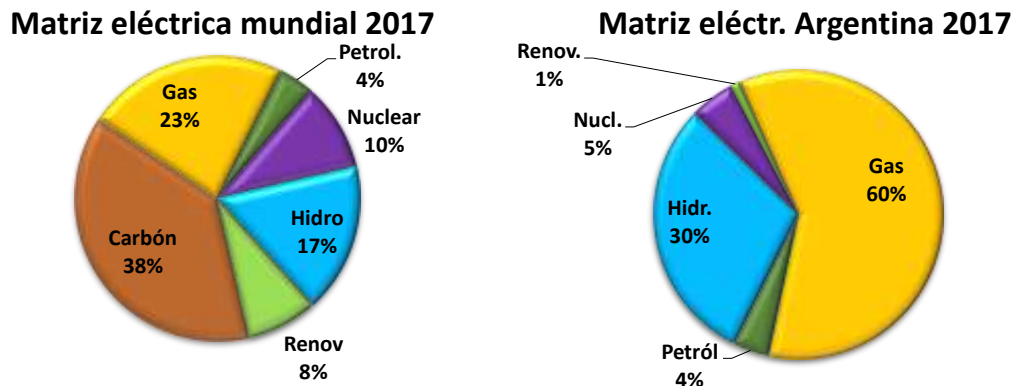


Figura zz.9. Matriz eléctrica mundo (izquierda) y Argentina (derecha) para el año 2017. Fuente de los datos: Secretaria de Energía de la Nación. [7], [6] · [12]

El acceso a la energía es fundamental para el desarrollo social y económico de la sociedad. Sin embargo, disponer de energía no representa un fin en sí mismo, sino un medio para satisfacer las necesidades vitales y de confort humano, así como para promover el desarrollo social y económico. Es decir, *lo que deseamos con la energía es brindar un servicio o satisfacer una necesidad*. Por ejemplo, iluminar una habitación, tener agua caliente, transportarnos de un lugar a otro, etc. Esto nos lleva a introducir un nuevo concepto muy útil, que es el de *eficacia energética*, es decir cuál es el beneficio que obtenemos por cada unidad de energía que usamos. Por ejemplo, en iluminación, la cantidad de luz que emite una lámpara se mide el Lúmenes (lm), por lo que la eficacia de una lámpara se mide en lm/W.

Así, la eficacia siempre es un cociente entre la magnitud del servicio buscado y la energía utilizada para lograr este servicio. En el caso de las lámparas el concepto de eficacia nos ayuda a seleccionar cual es la lámpara que con menor gasto de energía nos dará el mejor servicio de iluminación. En la Tabla ZZ.2 se ilustra esta situación.

$$Eficacia = \frac{\text{Magnitud de un servicio}}{\text{Energía empleada para brindarlo}} \quad (zz.2)$$

Si analizamos las Figuras ZZ.6, 7 y 8, vemos que, tanto en Argentina como en el mundo, el transporte es responsable de un tercio del consumo energético. Asimismo, las emisiones de CO₂, provenientes del uso del transporte, representan un 14% de total de emisiones en el mundo [13] y 15,5% de las emisiones de Argentina. [14] Las Figuras zz.7 y 8 fueron elaboradas por el Lawrence Livermore National Laboratory, de los EE.UU. [9] y se pueden encontrar en su sitio de Internet los correspondientes diagramas Sankey para casi todos los países del mundo. Un hecho notable de estos diagramas es que muestran que, a nivel global, cerca del 53% del petróleo se usa en transporte, pero con una eficiencia del orden del 20%, Figura zz.7. Es decir, que cerca del 43% del petróleo

producido a nivel mundial, se desperdicia por los caños de escape y otras pérdidas. En los EE.UU., con todo su desarrollo tecnológico, el 56% del petróleo se desperdicia en distintas ineficiencias. Lo notable de esta observación, es que si se examina cuidadosamente cómo se usan los combustibles para el transporte, la situación es aún peor.

Tipo de lámpara	Eficacia Luminosa	Vida Útil
Lámpara Incandescente	14 lm/W	1 000 hs (*)
Lámpara Halógena (dicróica)	18 lm/W	2 000 hs
Tubos Fluorescentes	90 lm/W	8 000-10 000 hs
Lámpara LFC (bajo Consumo)	55 lm/W	6 000 hs
LED	90 -120 lm/W	20 000 a 50 000 hs

Tabla zz.2. Eficacia luminosa y vida útil de los distintos tipos de lámparas. Fuentes de los datos: U.S. Department of Energy; International Energy Agency [15]; Secretaría de Energía de la Nación Argentina y Cámara Argentina de Industrias Electrónicas, Electromecánicas y Luminotécnicas (CADIEEL). [16] Según la Ley 26.473 de 2009, se prohíbe la importación y comercialización de lámparas incandescentes de uso residencial

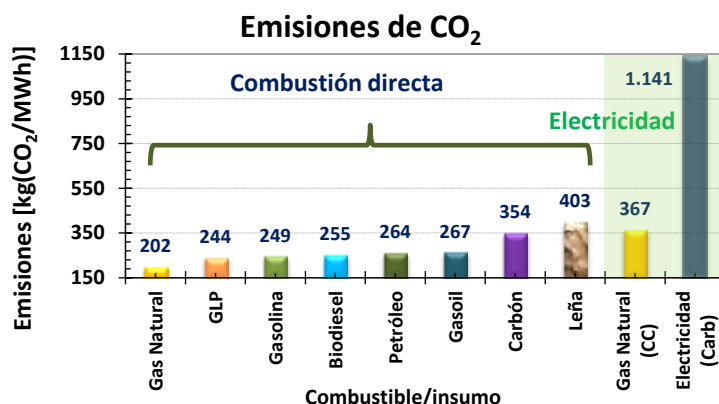


Figura zz.10. Matriz energética primaria de Argentina (derecha) para el año 2016, Distribución de la energía secundaria o final para el mismo [17]

Cuando se dice que la eficiencia de los vehículos de combustión interna (VCI) es del orden del 20%, se hace referencia a la eficiencia de transformación del combustible en el tanque del vehículo (gasolina) a energía cinética del vehículo, o sea la eficiencia del tanque a la rueda. Sin embargo, para que el combustible llegue al tanque, hay varios procesos que implican grandes consumos de energía, tanto en la extracción del petróleo, como en el transporte, refinación, y distribución del combustible. Todos estos procesos implican que la eficiencia del pozo al surtidor sea del orden del 70% al 80%. Por lo tanto, si se considera que esta eficiencia del pozo al surtidor es del orden del 75%, la eficiencia del pozo a la rueda (*Well to Wheel*) de los VCI es del orden del 15%. Además, un vehículo mediano, pesa unos 1.400kg, es decir, unas 20 veces más que un pasajero típico. Así la *eficacia* de transporte de la carga útil, pasajero, resulta del orden del 1%. Dado que casi un 53% del petróleo en el mundo se usa en transporte, esta eficiencia de uso se aplica a la mitad del petróleo usado en el mundo. Es notable el empeño que pone la humanidad en

procurar su suministro de petróleo, incluyendo guerras, ¡para luego malgastarlo de modo tan ineficiente!

Transiciones energéticas

Argentina –como lo ilustran las Figuras zz.5, zz.8 y zz.99– depende fuertemente de los combustibles fósiles para su aprovisionamiento energético. El petróleo y el gas contabilizan casi el 85% de la energía consumida, siendo el gas natural la componente más importante de la matriz energética nacional, ya que aporta más de la mitad de toda la energía primaria. Análogamente, el mundo, también depende en 80% de los combustibles fósiles, pero con una participación mayor del carbón mineral, que en Argentina es mínima, inferior al 0,5%.

En las Figuras zz.10 y zz.11 se muestra la evolución en el tiempo de la matriz energética argentina durante los últimos 60 años y la mundial a partir de 1850. En la comparación, se ve que Argentina acompaña y a veces adelanta las tendencias globales. Esto es notorio para el caso del gas natural. Desde hace más de dos décadas, el gas es la componente principal de nuestra matriz y su consumo se incrementa a una tasa cercana al 3,3% anual- duplicándose cada 20 años. Desde el punto de vista ambiental, esto es positivo, ya que, de todos los combustibles fósiles, el gas natural es el menos contaminante de todos ellos, siendo sus emisiones de CO₂ las más bajas, como se ilustra en la Figura zz.10. Pero desde una perspectiva global, es claro que nuestro objetivo debería ser reducir el consumo de combustibles fósiles y nuestras emisiones.

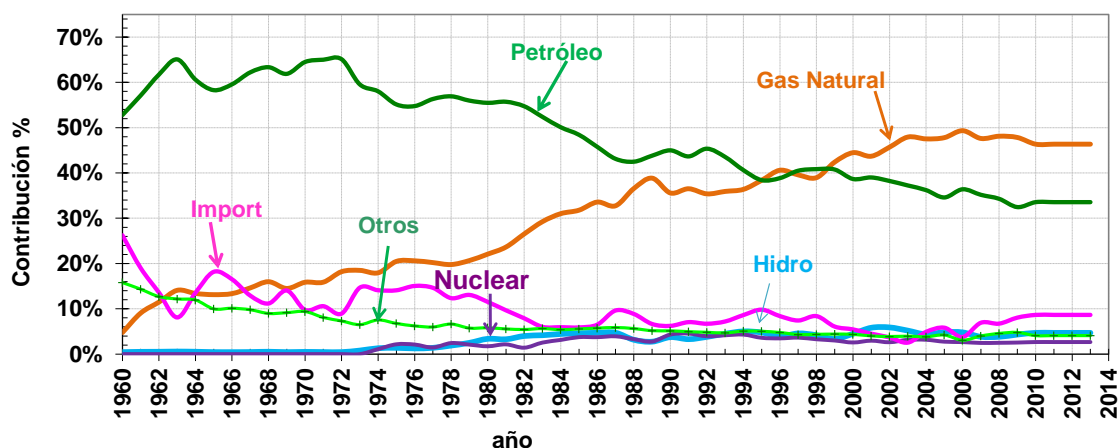


Figura zz.11. Variación en el tiempo del consumo de energía primaria en Argentina. La línea naranja representa el consumo de gas natural. A partir del año 2001 el gas natural se transforma en la fuente energética del país. También se indica la contribución de la energía importada. En “Otros” se incluye el consumo de carbón, leña, bagazo, eólica, etc. Fuente Secretaría de Energía de la Nación. [6]

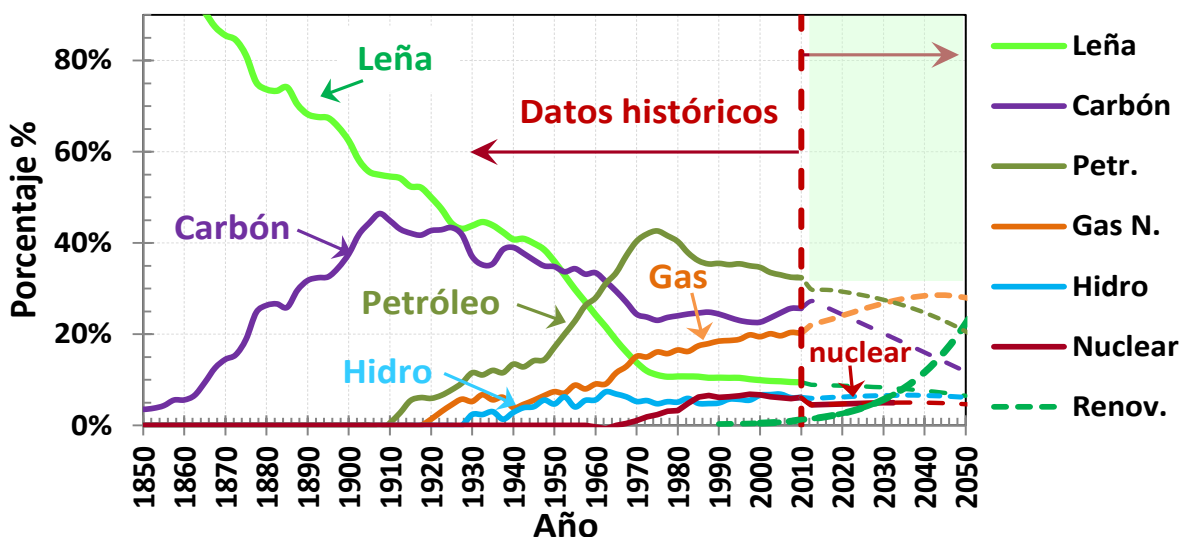


Figura zz.12. Variación en el tiempo del consumo de energía primaria en el mundo. La zona sombreada después de 2014, es una proyección de la evolución. Fuente International Energy Agency (IEA). [12] Esta figura es complementaria a la Figura zz.4.

Hay varias lecciones que la historia nos brinda. Como se aprecia en la Figura zz.12, los cambios en la canasta energética a lo largo del tiempo toman varias décadas para consolidarse. Es interesante notar que los primeros 50 años de la revolución industrial, el combustible más usado era leña y no el carbón como muchas veces se piensa. Ochenta años transcurrieron desde que la contribución del carbón mineral superó el 10% del total (c. 1830) hasta que alcanzó su pico en 1910. Cincuenta y cinco años pasaron desde que, durante la primera Guerra Mundial, el petróleo alcanzó el 10% de la matriz hasta que llegó a su máxima participación alrededor de 1977. Sesenta y cinco años separan 1950, momento en que el gas logra el 10% del aporte energético, y su predominio inminente. [18] La Figura zz.11 muestra que, para el caso argentino, la transición del petróleo a gas llevó unos 50 años.

Estos prolongados tiempos de transición, característicos de los sistemas energéticos de todo el mundo, se relacionan con el hecho que la industria energética es capital intensivo. Las grandes obras de infraestructura energética requieren varios miles de millones de dólares. Diseñar, conseguir los fondos y construir una represa hidroeléctrica o una central nuclear, o desarrollar un yacimiento de gas o petróleo, toma al menos una década. Además del costo y el tiempo asociado a la generación eléctrica o a la producción de combustibles, es necesario realizar las obras de transporte. Una vez construidas estas obras, lleva tres o más décadas amortizar los costos. Así, ese tipo de proyectos tienen un horizonte de uso de al menos 30 a 50 años. Es decir, la infraestructura energética vigente, la vamos a conservar por al menos 30 años más, lo cual condiciona que durante ese tiempo, los cambios no van ser demasiado grandes.

Además, en las transiciones energéticas, es necesario considerar la gran cantidad de equipos de uso final de la energía, que también deben renovarse. Cuando se pasó de la leña al kerosén, las cocinas tuvieron que ser modificadas. A su vez, las cocinas a kerosén no funcionan a gas, y así

sucesivamente. La transición de la leña al gas en Argentina, duro entre 30 a 40 años. [19] De manera análoga, un vehículo a gasolina (nafta), no funciona a gasoil o con electricidad. Estas transformaciones, además del costo monetario, tienen que franquear pautas culturales arraigadas. En definitiva, las transiciones energéticas, en general, son procesos lentos. Por ejemplo, en 2022 se estimaba que había unos 15 millones de automóviles livianos en Argentina. Si deseásemos cambiarlos a eléctricos a un precio de oferta de 10 mil USD cada uno (en realidad su precio actual es casi tres veces este valor). El costo de esta transformación sería de 150 mil millones de USD, a lo que habría que agregar el costo de las centrales de generación eléctrica, las líneas de transmisión y distribución más las estaciones de carga, que fácilmente duplicarían esta cifra. Algo así como el costo de dos Planes Marshall a valores presentes.

Los largos tiempos asociados a los proyectos energéticos hacen necesaria la búsqueda de acuerdos políticos amplios, que puedan tener continuidad en el tiempo, ya que cualquier programa energético o meta que tracemos en esta área, excede por lejos los tiempos asociados a una determinada administración política (4 u 8 años). La historia nos enseña que las políticas de Estado, sostenidas en el tiempo, a la par de contar con reglas claras y estables, son requerimientos necesarios, para lograr resultados fructíferos en el área de la energía.

Estos tiempos vuelven más apremiantes los cambios necesarios a realizar para mitigar las emisiones de gases de efecto de invernadero. Actualmente, las energías renovables, excluyendo las hidroeléctricas, constituyen cerca del 7 % de la matriz energética mundial. Como vemos, la historia no está de nuestra parte para esperar un cambio rápido como el que necesitamos y muchos deseáramos para lograr reducir nuestras emisiones. Por lo que será necesario agudizar nuestro ingenio para acelerar los tiempos. Una posibilidad es comenzar con el uso racional y eficiente de la energía (UREE). Además de ser la transición menos costosa de lograr, bien administrada, puede tener un impacto efectivo en la reducción de las emisiones. Además, facilita la transición a las energías renovables, ya sus efectos se potencian y complementan.

En el año 2006, se aprobó en Argentina la ley 26.190 destinada a promover la producción de electricidad con fuentes renovables. Se estableció como objetivo, que, en 10 años, el país alcance el 8% de su generación energía eléctrica usando fuentes renovables. Sin embargo, a fines de 2015 apenas se logró alcanzar el 1,6%, muy distante del objetivo del 8%. Más tarde, en 2015 una nueva ley nacional, votada con amplio consenso, la Ley 27.191/2015, establece nuevos horizontes. Fijaba que para 2017 el país deberá contar con el 8% de su generación eléctrica a partir de fuentes renovables y 20% al 2025. Ha fines de 2018, a pesar del gran éxito de los programas RENOVAR, las nuevas energías renovables apenas superaban el 3%, en 2021 llegaron al 13% y en 2023 14.3%. [20] Más allá de las buenas intenciones y el déficit en la implementación de medidas, el peso de la historia parece ser más importante de lo que suponemos.

Gran desafío: calentamiento global

En los primeros años de este siglo, gran parte del debate energético estuvo centrado en la preocupación por el agotamiento de los recursos energéticos, particularmente de los combustibles fósiles. Sin embargo, los recientes desarrollos en las técnicas de extracción de *shale gas* y *shale oil* en los Estados Unidos y más recientemente en Argentina, van despuntando un nuevo paradigma energético en el mundo, que ya no está centrado en la escasez.

Sin embargo, nuevos desafíos, quizás más preocupantes, se vislumbran en el horizonte. Existe un creciente consenso en la comunidad científica en que el calentamiento global que está experimentando la Tierra es producido, en buena parte, por el uso de combustibles fósiles. El dilema actual se parece a la tortura de Tántalo, quien fue castigado por los dioses y condenado a vivir en un lago con el agua hasta la barbilla, bajo un árbol repleto de frutas; y cada vez que, desesperado por el hambre o por la sed, intentaba tomar una fruta o beber el agua, estos se alejaban inmediatamente de su alcance. Después de todo, el periodo neolítico no concluyó porque se acabaron las piedras.

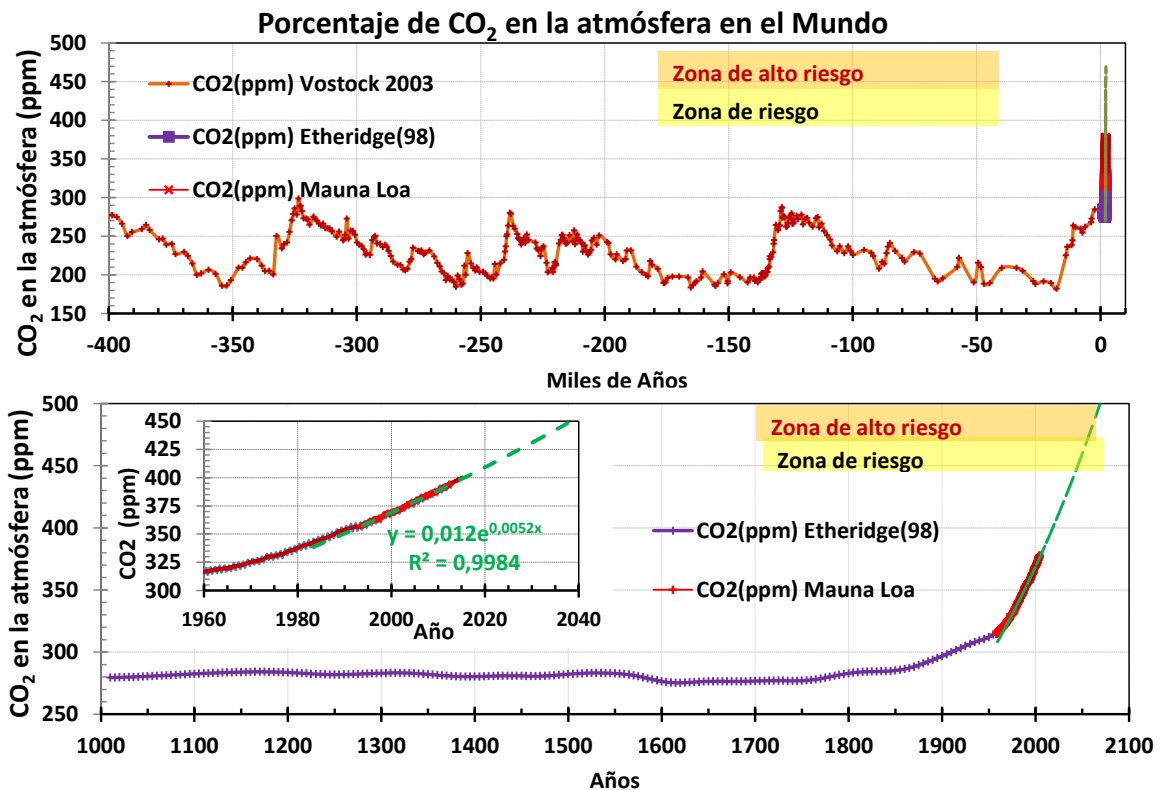


Figura zz.14. Porcentaje de CO₂ equivalente en la atmósfera terrestre. Arriba, datos obtenidos en Vostock (2003) [20] correspondientes a los pasados 400 mil años. Los datos más recientes son de la Estación Mauna Loa. [21] En el panel inferior se presenta los datos correspondientes a los últimos mil años y una extrapolación, en el modelo BAU a los próximos 100 años (líneas de trazos). Se observa que a menos se tomen medidas efectivas y prontas, hacia el año 2040 alcanzaríamos los 450 ppm.

Tanto el país como el mundo necesitan imperiosamente moverse a vías de desarrollo más sostenibles, si queremos reducir las causas del incremento del efecto invernadero. Se estima que una marca clave la constituye el límite de 450 ppm de CO₂ equivalente en la atmósfera. En el IPCC *Escenario 450* [22] se indican las medidas necesarias para limitar la concentración de CO₂ en la atmósfera a 450 partes por millón (ppm), y conseguir que la temperatura global no aumente más allá de 2°C, de los niveles preindustriales. A este valor se llegaría antes de 2040 (Figura zz.14). Por lo tanto, el tiempo disponible para lograr un mundo más sostenible es exiguo.

La Agencia Internacional de Energía en el *World Energy Outlook* (2011) señala que **“cuatro quintas partes de las emisiones totales de CO₂ procedentes de la energía permitidas por el Escenario 450 para 2035 ya están “comprometidas” por el stock de capital existente (centrales eléctricas, edificios, fábricas, etc.).** Si no se aplican nuevas medidas severas de aquí a 2025, la infraestructura energética existente para esa fecha generará ya todas las emisiones de CO₂ permitidas por el Escenario 450 hasta 2035, por lo que no quedará lugar para nuevas centrales eléctricas, fábricas u otras infraestructuras, a menos que sean de nula emisión de carbono, lo que resultaría extremadamente costoso. Diferir la actuación presente constituye un error en términos económicos: algunas proyecciones realizadas antes de la pandemia, indicaban que, por cada dólar no invertido en el sector eléctrico antes de 2020, sería preciso gastar 4,3 dólares más después de 2020 a fin de compensar el aumento de las emisiones.” Se estima que para lograr los objetivos del Escenario 450, que no es el óptimo, sería necesario destinar cada año el 1,4% del PBI mundial después de 2020. Todo este coste, sin embargo, se vería compensado parcialmente por los beneficios que producirá en la economía, la mejora en salud y seguridad en el suministro de energía.

Otro aspecto no menos importante es la distribución geográfica de los recursos fósiles. Estos recursos se encuentran concentrados en pocos países. En cambio, las fuentes de energía renovables, como la energía solar o eólica están más distribuidas geográficamente, aunque su intermitencia no deja de ser un importante problema. Desde luego la eficiencia energética es un recurso que está accesible para todos.

Sin embargo, según el *World Energy Outlook* (2023) de la IEA, las políticas que apoyan la transición a una economía de baja emisiones de carbono, ya están dando algunos resultados en mercados clave alrededor del mundo. Por ejemplo, en los Estados Unidos, ahora se proyecta que el 50% de los autos nuevos serán eléctricos en 2030, en comparación con el 12% proyectado en 2021. En la Unión Europea, las instalaciones de bombas de calor en 2030 alcanzarán dos tercios del nivel necesario en el Escenario de Emisiones Netas Cero, frente a un tercio que se proyectaba en 2021.

Las nuevas energías renovables

Si la problemática de los combustibles fósiles se limitara sólo a una cuestión de disponibilidad de recursos naturales y de técnica de extracción a precios asequibles, podríamos afirmar que disponemos de recursos fósiles al menos para uno o dos siglos más. Sin embargo, la cuestión del calentamiento global hace que la transición a una matriz energética más sostenible, libre de carbono, sea una cuestión de urgencia. Sin embargo, no podemos soslayar el tiempo relativamente largo que estas transiciones implican.

Genéricamente el término “nuevas energías renovables” (NER) se usa para designar a la energía eólica, energía solar (térmica y fotovoltaica), la biomasa (biocombustibles, gas de residuos y gas de aguas servidas, etc.), la energía geotérmica y la energía mareomotriz. Se genera así una distinción con las energías renovables tradicionales como la hidráulica y la leña. Las NER, junto al uso racional y eficiente de la energía (UREE), son las alternativas más atractivas y socialmente más aceptadas para responder a la demanda creciente de energía por parte de la sociedad, reducir las emisiones de gases de efecto de invernadero y lograr así un desarrollo más sostenible. [23] Además, si somos capaces de usar cada vez menos energía para satisfacer nuestras necesidades, estamos abaratando en forma sostenible el logro de nuestros servicios, lo cual permite que personas de menores ingresos, también tenga acceso a ellos. De modo que el UREE mejora en acceso a los servicios energéticos y se convierte en una herramienta para mitigar la pobreza y las emisiones al mismo tiempo.

Estas transiciones de la matriz energética hacia alternativas más sostenibles han venido teniendo ha venido ocurriendo en varios países durante las últimas 2 o 3 décadas. Alemania, Dinamarca y España son ejemplos notables de estas transiciones. En los últimos años muchos más países como Estados Unidos y China se han sumado a la incorporación masiva de nuevas energías renovables. Las Figuras zz.15 y zz.16 ilustran estas tendencias en el mundo.

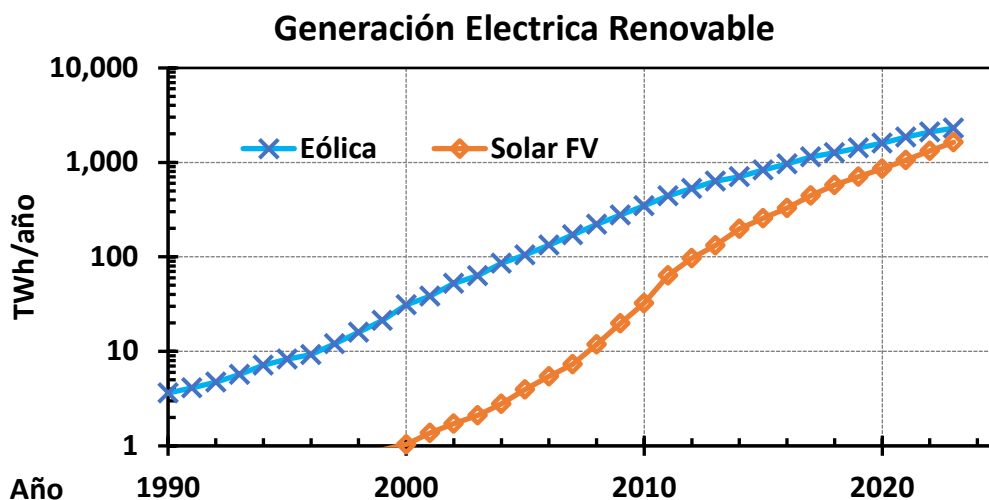


Figura zz.15. Crecimiento de la generación eólica y solar en el mundo. Los símbolos son los valores observados. El crecimiento observado en la última década para la energía eólica es del 24% anual y el de la solar del 50% anual. [25]

Como se observa, el crecimiento de la generación eólica en los últimos 10 años, tuvo un crecimiento promedio de 24% anual y el solar de 52%. A pesar de este impresionante crecimiento, la incidencia de estas energías en el mundo es aún muy modesta. Al año 2014 la generación eólica constituía solo el 3% de toda la energía eléctrica generada en el mundo y la solar sólo el 0,8%. Pero se espera que estas dos formas de generación tengan un crecimiento muy significativo en las próximas décadas. La International Energy Agency estima que para el 2050, el 18% de la energía eléctrica producida en el mundo provenga de la energía eólica. También se observa que el precio de la generación eólica y solar han tenido fuertes caídas en los últimos años. En particular, le

generación eólica disminuyó sus costos en un factor 10 entre 1980 y 2010. Grandes reducciones se observan también en el caso de la solar. Estas tendencias, sumadas a sus importantes ventajas medio ambientales comparadas con las otras formas de generación eléctrica despiertan muchas expectativas favorables para su futuro. En la Figura zz.16 se muestran los países que más avanzaron en la descarbonización de sus matrices energéticas al año 2014.

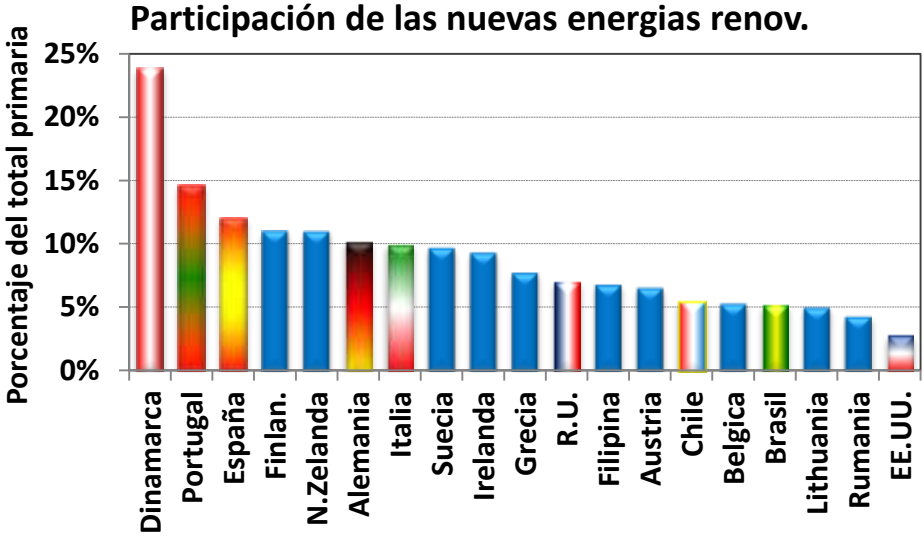


Figura zz.16. Porcentaje de la participación de las NER en la matriz energética primaria de los países en que éstas han tenido una mayor penetración. [12]

En la Figura zz.17 se presenta la variación en el tiempo de la generación eléctrica por las NER de un grupo de países en los que éstas tuvieron mayor penetración.

Las Figuras zz.17 y zz.18, que muestran la variación de la generación eléctrica por las NER, la primera en términos de TWh/año y la segunda como porcentaje de la generación eléctrica total, para el mismo grupo de países. Comparándolas se observa que, a pesar de los importantes crecimientos registrados en las últimas décadas, su participación relativa, exceptuando a Dinamarca, Alemania y España, es todavía modesta, no alcanzando aún el 10% de la generación total.

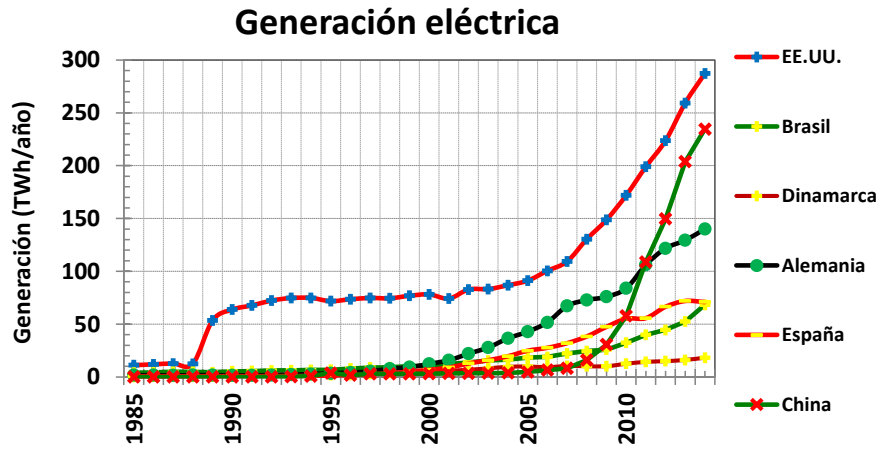


Figura zz.17. Variación de la generación eléctrica por las NER de un grupo de países en los que éstas tuvieron mayor penetración. [12]

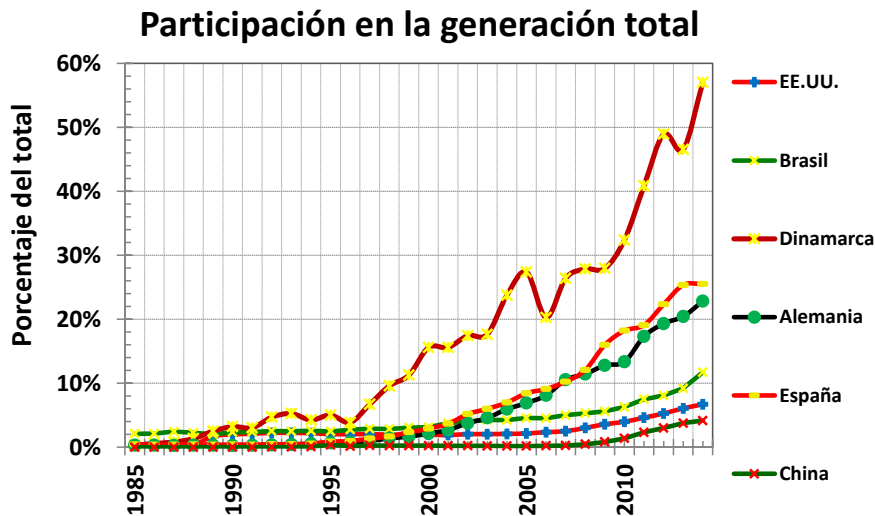


Figura zz.18. Porcentaje de participación de la generación eléctrica por las NER, respecto de la generación eléctrica total, para el mismo grupo de países de la Figura zz.14. Para la mayoría de estos países, la energía eólica fue la que más aportó a estas transiciones.

Estos casos muestran también que las transiciones inducidas son lentas. Aún para países que tuvieron una relativa “rápida” transición propiciada por políticas activas y sostenidas en el tiempo, los tiempos de maduración de las transiciones no fueron inferiores a los 20 años.

Dinamarca, Alemania y España constituyen ejemplos interesantes de cómo se producen transiciones energéticas inducidas por políticas activas: por una combinación de uso racional y eficiencia de la energía (UREE) sumada a un fuerte desarrollo de las NER, lograron importantes cambios en sus matrices energéticas, especialmente las eléctricas.

Dinamarca logró que casi un cuarto (24%) de la energía primaria consumida tenga su origen en las NER. En este país, el resto de la energía lo aportan en un 36% el petróleo, 25% el carbón y 20% el gas natural. Por su geografía, su potencial hidráulico es muy escaso. En 1972, el petróleo constituía cerca del 92% de su matriz energética, mayoritariamente importado, [25], [26] por lo que las crisis de los años 70's lo impactó fuertemente. Desde entonces procuró desarrollar su propia producción de petróleo que logró aumentar hasta 2004. Pero quizás el mayor éxito de su política energética se debió al UREE. [27], [28] Desde mediados de los 70's consiguió mantener estable su consumo primario de energía por más de 30 años. Pero esto no impidió que durante ese mismo período, su PBI creciera en más del 70%. En 1986, tras largos debates, se prohibió el uso de la energía nuclear. Además, experimentó un notable crecimiento la generación eólica, como se ve en las Figuras zz.8 y zz.9. Este desarrollo contribuyó al florecimiento de una importante industria, transformando a Dinamarca en un importante proveedor mundial de equipos y tecnología asociada a la generación eólica.

Otro ejemplo de transición energética inducida y veloz, la podemos observar en Alemania. En el año 2000, Alemania lanzó la política de *Energiewende*, que, como Dinamarca, puso énfasis en el UREE y el desarrollo de las NER. En 2011, tras el accidente de Fukushima, reafirma la decisión de dejar de usar la energía nuclear. Se propone para 2030 que la mitad de la electricidad debe provenir de fuentes de energías renovables nuevas. Para 2050, espera reducir las emisiones entre 80 y 95% respecto de sus valores de 1990. El UREE es uno de los pilares de la política energética alemana, que fijó el objetivo de reducir en 50% el consumo de energía primaria para 2050 (20% para 2020) respecto de lo consumido en 2008. Estos objetivos a largo plazo recibieron amplio apoyo político. Durante las últimas 2 décadas Alemania consiguió desacoplar las emisiones de gases efecto invernadero del crecimiento económico. Las nuevas energías renovables llegan a aportar 10% de la energía primaria: 8% biocombustibles, 1% eólica y 1% solar. El petróleo aporta 36%, carbón 25%, gas natural 20%, nuclear 7% e hidroeléctrica 1,5%. En Alemania el consumo primario de energía bajó ligeramente en los últimos 30 años, sin impedir un fuerte crecimiento de su PBI.

Otro ejemplo notable de transición inducida, es el caso de España. A partir de fines de los años 80's España comienza un fuerte programa de desarrollo de NER, principalmente eólica y solar. Después de una sostenida política energética, más de 12% de su energía primaria proviene de esas fuentes.

Perspectivas locales.

En el caso de Argentina, a través del Decreto 531/2016, se reglamentó la nueva ley de energías renovables, ley 27.191 de 2015, que modifica la ley 26.190 del año 2006. Estas leyes promueven la expansión de fuentes renovables en generación eléctrica en el país y gozan del importante respaldo de un amplio espectro político nacional.

En Argentina, según la Ley 26.190 y la Ley 27.191, las energías consideradas renovables (NER) incluyen: 1) Energía solar: fotovoltaica y térmica. 2) Energía eólica. 3) Energía hidroeléctrica: Generación de electricidad a partir del flujo de agua en ríos y embalses, con potencias menores a 50MW. 4) Energía de biomasa: Producción de energía a partir de residuos

agrícolas, forestales y urbanos. 5) Energía geotérmica: Utilización del calor interno de la Tierra para generar electricidad y calefacción. 6) Biogás: Generación de energía a partir de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como residuos agrícolas y urbanos. 7) Etc. (varias fuentes de menor relevancia).

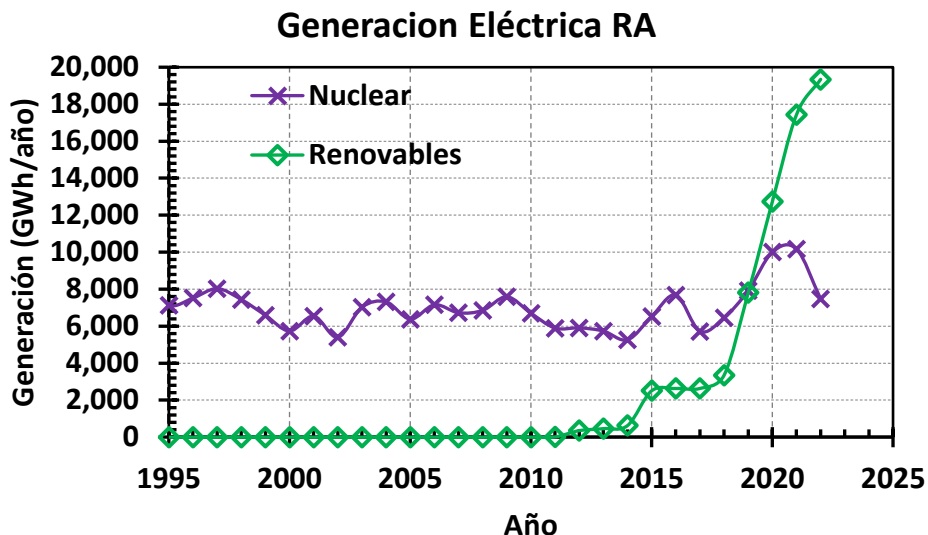


Figura zz.19. Variación de la Matriz eléctrica Argentina. participación de la generación eléctrica por las NER, y Nuclear.

La ley 26.190 establecía como objetivo, que en 10 años, o sea para 2016, el país alcance el 8% de su generación eléctrica usando NER. A pesar de distintos esfuerzos, a fines de 2015 apenas se logró alcanzar el 2%. Una nueva ley de energías de energías renovables, Ley 27.191/2015, establece nuevos horizontes. Fija que en 2017 el país deberá contar con el 8% de su generación eléctrica a partir de fuentes renovables y 20% al 2025. Sin embargo, cabe destacar que para 2023, el aporte de las NER alcanzó 14.3% de la demanda total de electricidad en el país. [20]

Hacia un futuro sustentable

El uso racional y eficiente de la energía (UREE) y el aprovechamiento de las energías renovables (NER), son claramente componentes importantes en la búsqueda de soluciones a los desafíos energéticos del presente y futuro. Hay un generalizado consenso mundial de que el uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, son una respuesta prudente y adecuada para enfrentar estos desafíos. El uso eficiente de la energía y el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, son en cierto modo las dos caras de una misma moneda, ya que se complementan muy adecuadamente.

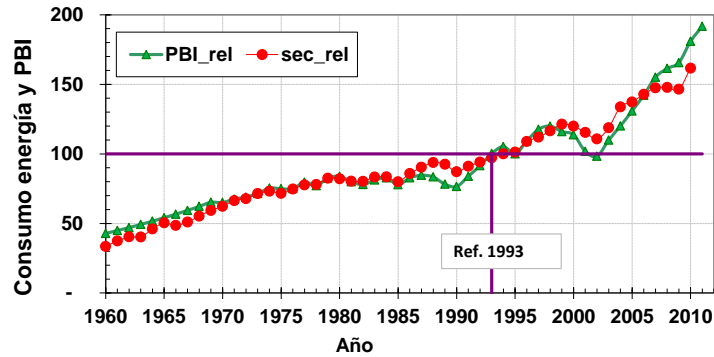


Figura zz.20. Variación del consumo total de energía secundaria y PBI a valores constantes de 1993 de Argentina en unidades relativas. Los valores de 1980 de consumo y PBI se normalizan a 100 para ese año. En Argentina el crecimiento del consumo “copia” las variaciones de PBI pero crece más rápidamente que éste. [6]

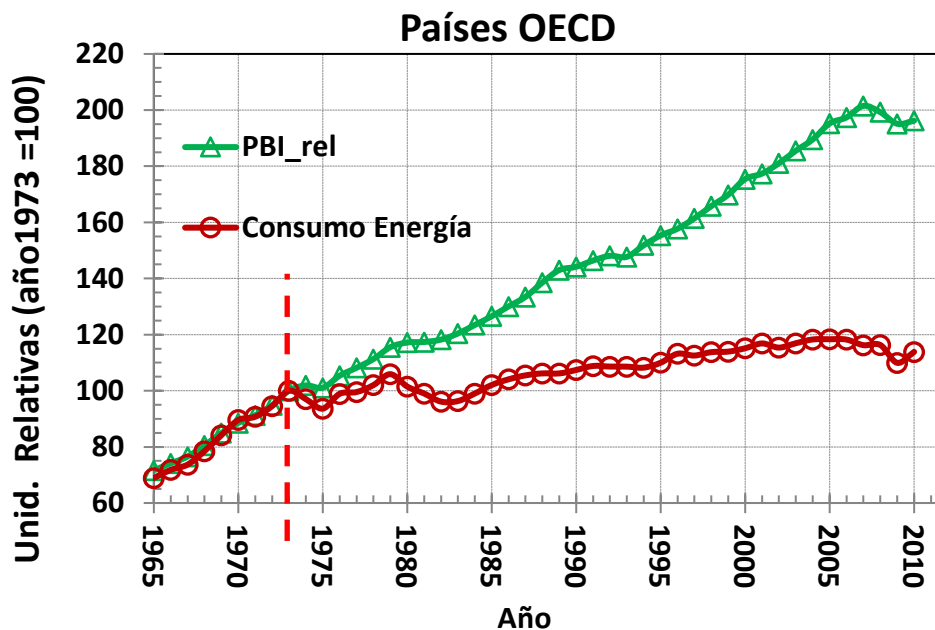


Figura zz.21. Variación del PBI (GDP) y el consumo final de energía para los países de la OECD de 1967 a 1994. [30] Los datos están en unidades relativas, tomando como 100 los valores del año 1973. Se observa que hasta 1974 ambas curvas se mueven juntas. A partir de esa fecha y como consecuencia de las medidas de uso eficientes adoptadas, el crecimiento económico continuó su ascenso, pero el consumo de energía se mantuvo casi constante.

El UREE debe propender a lograr una mejor gestión de la energía y los recursos disponibles, a la par de reducir las inequidades, evitar el deterioro del medio ambiente, mejorar la competitividad de las empresas y preservar nuestras reservas naturales para generaciones futuras. Al disminuir las demandas energéticas, los aportes de fuentes renovables comienzan a jugar un rol muy significativo, y se genera un círculo virtuoso. Por una parte, se disminuyen las emisiones de GEI y por otra parte se genera un desarrollo tecnológico, capaz de generar nuevos emprendimientos,

empleo y desarrollo económico. Este hecho tiene importantes ejemplos a nivel internacional. Varios países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), que adoptaron medidas de este tipo, *no solo lograron disminuir sus consumos energéticos, reduciendo considerablemente su dependencia de combustibles fósiles importados, sino que desarrollaron una importante industria de sistemas y productos que se están exportando por el mundo.*

En las Figuras 15 y 16 se muestran la variación del PBI y el consumo de energía en los últimos 30 años para la Argentina y los países desarrollados que integran la OECD. En el caso argentino se graficó el total del consumo de energía secundaria, es decir los productos energéticos que se consumen. Se observa que la curva de consumo de energía en Argentina sigue (copia) la curva de PBI. Para los países de la OECD, hasta 1974 se observa un comportamiento similar. Sin embargo, a partir de esa fecha, como consecuencia de las medidas implementadas para el uso eficiente de la energía en esos países, debido a los aumentos de precios ocurridos después del primer embargo de petróleo, el PBI siguió creciendo en forma sostenida, aunque el consumo de energía casi no varió significativamente durante el mismo período.

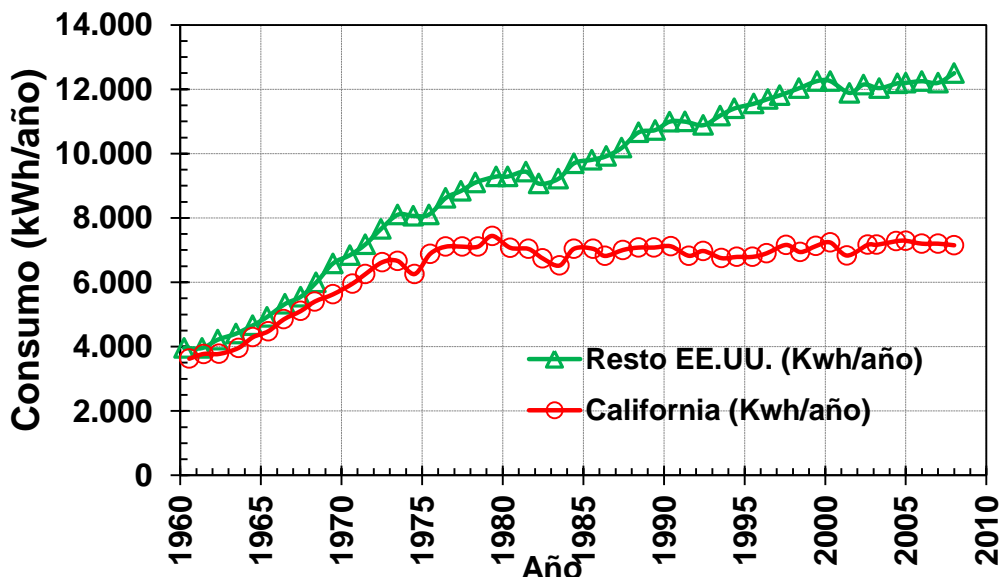


Figura 22. Evolución del consumo eléctrico per cápita en California y el resto de los EE.UU. A partir de los años 70, cuando se implementan estándares de eficiencia en California, combinados con un fuerte incentivo al desarrollo de productos más eficientes, el consumo per cápita prácticamente permanece constante, mientras que en el resto de ese país el consumo tuvo un incremento de más del 50%. [31]

Una situación similar ocurrió en el Estado de California. El consumo de electricidad per cápita en este Estado crecía monótonamente con el tiempo, al igual que en el resto de los EE.UU. A partir de 1973 en California se adoptan medidas que estimulan un uso racional de la energía. Como resultado de ello, el consumo per cápita de electricidad en California se mantuvo prácticamente constante, mientras que en el resto de los EE.UU. donde no se aplicaron dichas medidas, el consumo per cápita siguió su tendencia monótona creciente. Claramente el crecimiento de California fue tan bueno o mejor que el promedio de los otros estados de los EE.UU. demostrando

que el URE no tiene impacto negativo en la economía, sino todo lo contrario. Este hecho notable recibe el nombre de “Efecto Rosenfeld” en honor a Arthur Rosenfeld [32] (Figura 17), que desde la dirección de la Comisión de Energía de California impulsó estas políticas de uso eficiente de la Energía.

Estos hechos ilustran que es posible tener un crecimiento importante y al mismo tiempo mantener y aun disminuir el consumo de energía adoptando medidas de uso eficiente.

La adopción de políticas que favorezcan un uso eficiente de la energía, además de ser viables, tienen la ventaja de disminuir la necesidad de importar energía, ahorrando importantes recursos económicos, a la par de disminuir las emisiones de gases de efecto de invernadero.

Sin embargo, el UREE a pesar de ser un primer paso importante en la dirección correcta, es muy probable que no sea suficiente para prevenir el aumento de las emisiones, dato el ritmo de crecimiento de la demanda energética mundial. Seguramente será necesario hacer importantes cambios en la composición de la matriz energética, tanto global como local.

La experiencia internacional indica que en general es más barato ahorrar una unidad de energía que producirla. Así es como la Eficiencia Energética se convierte en un protagonista fundamental de las matrices energéticas de los países desarrollados, ya que es una fente de energía de bajo costo que no contamina.

Es interesante señalar que aún con las bajas tasas de crecimiento del PBI (Producto Bruto Interno) registradas en Argentina en las últimas 3 décadas, el consumo eléctrico se fue duplicando cada 15 años. [33], [34] En el transcurso de estas tres décadas el PBI sólo creció en un 75%. Por lo tanto, los datos indicados en la tabla anterior no son inconsistentes con lo ya acontecido. Similarmente, el consumo de gas natural se duplicó en los 20 años que transcurrieron entre 1985 y 2005.

Indicadores energéticos

Una herramienta muy útil para poder establecer comparaciones entre países y evaluar la evolución en una dada región el cumplimiento de algún objetivo propuesto consiste en **establecer indicadores** que nos permitan saber si nos acercamos o alejamos de dicho objetivo. Por ejemplo, si deseamos saber si una dada reforma educativa está teniendo éxito o no, resulta útil disponer de un sistema de evaluaciones objetivas que nos indiquen en qué dirección nos movemos. Si hacemos un régimen alimentario, es bueno disponer de una balanza o una cinta métrica para medir el perímetro abdominal. Desde luego, la evaluación de un régimen alimentario es mucho más complejo que los que el valor que una balanza o una cinta métrica puede dar, pero claramente estos valores son útiles, que complementado con otros indicadores pueden dar resultados muy útiles. Así también, en el caso de los sistemas energéticos, es importante disponer de la capacidad de medir el estado de desarrollo de un país y verificar si progresa o no hacia la consecución del objetivo de la sostenibilidad. Así también, es importante que las personas comprendan las implicaciones de determinados programas, políticas y planes energéticos, ambientales y económicos.

Un indicador económico importante es el ingreso per cápita, pero como las monedas son distintas en cada país, es útil disponer de una misma unidad para todo el mundo. Para poder comparar el ingreso per cápita en dos países diferentes o aun en un mismo país en tiempos diferentes, es útil introducir el concepto de paridad de poder adquisitivo (PPA) o Purchasing Power Parity (PPP) [29] en lugar del tipo de cambio nominal. Un modo de establecer este valor consiste en tomar el costo de una canasta de bienes y servicios equivalentes en dos países distintos o dos tiempos diferentes. El costo de esta canasta se compara con el valor de una canasta equivalente en otro país, generalmente dólares de los EE.UU., a partir de esta comparación se establece una relación entre las dos monedas. El concepto de PPA se originó hace 25 años y es usado por los organismos internacionales como el Banco Mundial, la ONU, etc. para comparar los ingresos de los diferentes países. El término PPA explica esto mediante el uso de una canasta de bienes, es decir, muchos bienes con diferentes cantidades. Luego, se calcula una inflación y un tipo de cambio como la relación entre el precio de la canasta en una ubicación y el precio de la canasta en la otra ubicación. De esta manera, se puede comparar, por ejemplo, ¿el ingreso per cápita de un italiano actual con otro de la época del Imperio Romano! [30], [31]

Desde luego, los indicadores dan una idea más o menos ajustada de una dada característica en un dado momento de un lugar. En general la realidad puede ser mucho más compleja. Es como la discusión de cuán fiel debe ser un mapa. Un mapa, da una idea simplificada del territorio. Nos permite fácilmente ubicarnos y saber cómo ir de un lugar a otro, sin ser un nativo del lugar. El territorio desde ya es más rico y complejo, tiene edificios y complejidades que el mapa no contiene. Pero para ir de un punto a otro, muchas veces es útil y más conveniente disponer del mapa, siempre y cuando tengamos presente que se trata de una simplificación, deseablemente fiel de la realidad, pero no la realidad misma.

Entre los muchos indicadores energéticos, podemos citar:

- *Consumo de energía per cápita*, medido por ejemplo en kWh/año o aun kW (medio anual)
- *Ingreso per cápita* o PBI/Cap, medido en USD/año/personas
- *Intensidad energética*: Energía total secundaria/PBI total de un país (medido en UDS/MWh o UDS/GJ)
- índice de Desarrollo Humano (HDI) índice creado por la Naciones Unidas para medir el nivel de bienestar o calidad de vida de un país o territorio. Este índice tiene en cuenta la calidad de la salud de la población a través de la esperanza de vida, la educación y el ingreso per cápita. Estos tres indicadores combinados, en el IDH se usan para medir la calidad de vida.
- Las emisiones de CO₂ por país y las *emisiones per cápita* son dos indicadores importantes. De igual manera las la Intensidad de Carbono eléctrica, es decir los kg(CO₂)/MWh generado de electricidad es otro indicador importante, como vimos en el Capítulo anterior.
- Intensidad de carbono: se calcula como el cociente entre el PBI de un país en país (en USD PPA) y las emisiones de CO₂. Generalmente se expresa como kg(CO₂)/1000 USD (PPA).

Los encargados de implementar políticas necesitan métodos para medir y evaluar los efectos actuales y futuros de distintas medidas. También para determinar si la utilización de la energía en un dado lugar es más o menos sostenible. Por ello, los indicadores energéticos objeto de estudio son parámetros que sirven de métrica para evaluar y comparar como se usa la energía.

Los indicadores no son meros datos, sino que trascienden lo que es la estadística básica para promover un entendimiento más a fondo de los principales p

Problemas y Preguntas

Analizar los consumos de su familia y de los de una familia típica de Argentina. Realice este análisis en dos modos: a) Business as Usual (BAU= como lo viene haciendo hasta ahora) b) haciendo un uso racional y eficiente de la energía. (UREE) c) para los dos modos estime las emisiones de CO₂ por año.

Compare los costos y beneficios.

En este ejercicio, se espera que usted aprenda cómo se nosotras aportamos a las emisiones de GEI. Puede utilizar una calculadora de huella de carbono o hacerlo en su hoja de Excel. Compare sus emisiones con un hogar medio estadounidense y un hogar medio del mundo. Evalúe las medidas más económicas y de mayor impacto para reducir las emisiones en 50%.

Ejercicios

- 1- Usando los datos de IPCC, realice un gráfico de torta indicando las mayores contribuciones a las emisiones de GEI. Identifique y discuta cuales son las más significativas.
- 2- Usando los datos de los PPM de CO₂ medidos en Vostok Ice Core (ver: Historical CO₂ Record from the Vostok Ice Core) grafique la variación de PPM de CO₂ en la atmosfera de los últimos 40 ka (miles de años).
- 3- Usando los datos de contenidos de CO₂ de Mauna Loa Observatory (Concentrations at the Mauna Loa Observatory (PPM) Atmospheric CO₂ | NOAA-ESRL), complete el grafico anterior con los últimos 60 años medidos recientemente. ¿Cuál es el valor actual de PPM de CO₂ en la atmosfera? ¿Hay valores de esta magnitud en los últimos 400 ka?
- 4- Usando los datos de consumo de su factura de luz y gas, y conociendo los artefactos de que dispone en su casa, trate de simular lo más adecuadamente posible sus consumos de energía. A) Modelo BAU: Para ello en una hoja Excel, indique en cada línea, un artefacto, su consumo nominal (potencia), tiempo de uso diario y mensual, su consumo mensual y bimestral, en kWh . En la última columna, conociendo el costo unitario de la unidad de energía (\$/kwh o \$/m³ de gas), indique su costo mensual y bimestral de cada artefacto. Calcule estos costos con y sin subsidios y también con los costos de esta energía en Chile o Uruguay. Realice un gráfico de torta, indicando los consumos de energía y los gastos en pesos. B) Modelo EE: en otra hoja de Excel, realice el mismo cálculo aplicando todas las medidas de eficiencia que le resulte posible. C) para estas mismas situaciones, evalúe las emisiones de carbono. Realice un gráfico de torta indicando los artefactos que general mayor emisión en el modelo BAU y UREE. Indique cuántas personas viven en su hogar.
- 5- **Transporte:** A las hojas anteriores. Agregue sus consumos de energía asociados al transporte. Incluyendo sus emisiones cuando maneja un auto, moto, anda en colectivo u otro medio de transporte. Agregue a esto un viaje en avión a Madrid al año. De nuevo realice un gráfico de barras indicando sus emisiones en transporte y en un gráfico de torta

identifique los viajes que más emisión generan. Ver: (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de GEI correspondiente a la República Argentina) <http://www.ambiente.gov.ar/>

6- **¿Qué es una huella de carbono? Discuta.**

Quizás usted se ha preguntado ¿qué puedo hacer al respecto? El primer paso hacia la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es evaluar en cuánto cada uno de nosotros es responsable de estas emisiones de GEI. Esto es, conocer su huella de carbono y evaluar en qué medida se puede reducir.

La huella de carbono es la cantidad total de GEI producidas en forma directa e indirectamente las actividades humanas que realizamos todos los días, generalmente expresados en toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) al año.

Los gráficos anteriores muestran las principales fuentes que generan la huella de carbono de una persona típica en el mundo desarrollo intermedio y de un país desarrollado.

Una huella de carbono se compone de la suma de dos partes, la huella primaria y la huella secundaria

- a. La huella primaria es una medida de nuestras emisiones directas de CO₂ provenientes de la quema de combustibles fósiles, incluyendo el consumo doméstico de energía y el transporte (por ejemplo, coche y avión). Tenemos el control directo de estos.
- b. La huella secundaria es una medida de las emisiones indirectas de CO₂ de todo el ciclo de vida de los productos que utilizamos - los relacionados con su fabricación y eventual avería. Cuando compramos un nuevo producto, ese producto tiene energía incorporada sustancial en ella desde su fabricación, embalaje y entrega. También, cuando comemos una naranja en Neuquén o Tucumán, producimos emisiones indirectas de dióxido de carbono. Para decirlo de manera muy simple: cuanta más compra (consume), más emisiones se hicieron.

Discusión

- A) Realice una auditoría de su vivienda, tomando como base los consumos eléctricos anuales obtenidos de sus facturas de electricidad y gas. B) Cómo se compara el consumo en su casa con los promedios del país. [32] [33] C) Estime su consumo de energía incluyendo su consumo en combustible para su vehículo o transporte público. D) ¿Cómo es su huella de carbono total en comparación con los hogares de otros estudiantes? [34]
- ¿Cómo se compara su huella de carbono con el promedio de Argentina?
- ¿Cómo es su huella de carbono total en comparación con los hogares medios del mundo?
- ¿Por qué es el número del hogar promedio mundial más bajo que el promedio de los hogares de Estados Unidos?
- ¿Le sorprendió la cantidad de factores que entraron en el cálculo?
- ¿Hubo algún factor que no esperaba que hayan contribuido a su cálculo? ¿Cuáles?
- ¿Existen factores cuyas contribuciones a las emisiones de gases de efecto invernadero no son claros? ¿cuáles?
- ¿Crees que podría reducir sus emisiones a la mitad?
- ¿Qué tan cerca estaría del promedio mundial si logra hacer esto?
- ¿Qué se puede hacer para reducir su huella de carbono?

Después de ver el resumen en el sitio web, haga una lista de acciones que podrían reducir sus emisiones si alterara su modo de vida significativamente. ¿Cree que puede hacerlo y sostenerlo en el tiempo?

Qué opina de esta frase: “*una cosa e parlare di morte, e una altri e morire*”

Referencias

- ✓ Excelente base de datos de indicadores globales: <https://www.gapminder.org/>
 - ✓ Index Mundi, estadísticas mundiales: <https://www.indexmundi.com/g/>
 - ✓ Base de datos de varios indicadores a nivel mundial: <https://ourworldindata.org/>
 - ✓ Base de datos del Banco Mundial: <http://datos.bancomundial.org/?display=default>
 - ✓ Datos de Energía de Argentina: <http://datos.minem.gob.ar/>
 - ✓ <http://www.coolcalifornia.org/calculator>
 - ✓ <http://footprint.wwf.org.uk/>
 - ✓ <https://www.youtube.com/watch?v=CRfc85AIH3c>
 - ✓ Calculo de consumo de gas de ENARGAS: [http://www.enargas.gov.ar/SimuladorConsumos/lite.swf?urlservicio=.](http://www.enargas.gov.ar/SimuladorConsumos/lite.swf?urlservicio=)
 - ✓ Calculo de consumos eléctricos de Edenor: http://www.edenor.com/cms/SP/CLI/HOG/USO_calcule.html
 - ✓ <http://www.coolcalifornia.org/calculator>
 - ✓ Inti consumo de energía en RA: <http://www.inti.gob.ar/energia/index.php?seccion=uResidencial>
-
- ✓ Puede utilizar algunas de las varias aplicaciones para convertir unidades. Una muy conveniente para Android es: convertidor de unidades; o *Convert* para Windows (<http://joshmadison.com/convert-for-windows/>).

Bibliografía

- [1] A. Maddison, «The World Economy: a millennial perspective,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.theworldeconomy.org/>.
- [2] Wikipedia, the free encyclopedia, «The World Economy: Historical Statistics,» 2018. [En línea]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/The_World_Economy:_Historical_Statistics . [Último acceso: 2019].
- [3] C. Rubbia, «The future of energy,» de *18th IAEA Fusion Energy Conference, Sorrento, Italy, 4th October 2000.* , Sorrento, 2000.
- [4] Global Energy Assessment (GEA) , «GEA, 2012: Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future,» Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA , 2012. [En línea]. Available: <http://www.globalenergyassessment.org/>.
- [5] Department of Energy USA, «Energy in the United States, 1635-2000,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/eh/frame.html> .
- [6] Secretaría de Energía de la Nación, «Datos Abiertos de Energía Argentina,» 2019. [En línea]. Available: <http://datos.minem.gob.ar/dataset/balances-energeticos>.
- [7] British Petroleum (BP), «Statistical Review of World Energy 2018,» BP, 2018. [En línea]. Available: <http://www.bp.com/statisticalreview>.
- [8] Wikipedia, «Matthew Henry Phineas Riall Sankey,» 2019. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Matthew_Henry_Phineas_Riall_Sankey.

- [9] Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), «Energy Flow Charts,» 2018. [En línea]. Available: <https://flowcharts.llnl.gov/commodities/energy>. [Último acceso: 2018].
- [10] EDX- Harvard University, «Energy Within Environmental Constraints,» EDX- Harvard University, 2018. [En línea]. Available: <https://courses.edx.org>.
- [11] Union of Concerned Scientists, «Environmental Impacts of Hydroelectric Power,» 2018. [En línea]. Available: https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html.
- [12] IEA International Energy Agency, «IEA,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/countries/>.
- [13] IPCC, «IPCC, 2014. Summary for policymakers, in: climate change 2014,» 2014.
- [14] Min. de Ambiente y Desarrollo Sustentable Argentina, «Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero,» Buenos Aires, 2017.
- [15] USA EIA, «USA Energy Information Agency,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=18671>.
- [16] Cámara Argentina de Industrias Electrónicas, Electromecánicas y Luminotécnicas (CADIEEL), «Secretaría de Energía de la Nación Argentina y el Programa de Iluminación Eficiente ELI (Efficient Lighting Initiative),» 2014. [En línea]. Available: <http://www.cadieel.org.ar/noticias-de-iluminacion/>.
- [17] Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) , «Energy, Water, and Carbon Informatics,» Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) , 2019. [En línea]. Available: <https://flowcharts.llnl.gov/>.
- [18] V. Smil, «Energy Transitions: History, Requirements, Prospects,» Santa Barbara, CA, Praeger, 2010.
- [19] S. Carrizo, M. Nuñez Cortéz y S. Gil, «Transiciones energéticas en Argentina,» *Ciencia Hoy*, vol. 2, pp. 25-39, 2026.
- [20] CAMMESA, «Informe Anual,» 2024.
- [21] U.S. Department of Energy (DOE). , «Historical Carbon Dioxide Record from the Vostok Ice Core,Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC) the U.S. Department of Energy (DOE),» 2019. [En línea]. Available: <http://cdiac.ornl.gov/trends/co2/vostok.html>.
- [22] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), EE.UU. , «Mauna Loa Observator, Hawaii, dependiente del,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo/>.
- [23] IPCC, «IPCC - Trayectorias de emisión conducentes a la estabilización,» 2014. [En línea]. Available: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/mains5-4.html.
- [24] OECD Observer, «Energy transitions, renewables and rational energy use: A reality check, V.Smil,» OECD Observer No 304 , Nov. 2015. [En línea]. Available: https://issuu.com/oecd.publishing/docs/oecdoobserver304_november_parissuppl .
- [25] British Petroleum (BP), «BP Statistical Review of World Energy June 2015.,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.bp.com/statisticalreview>.
- [26] L. Henrick, «Renewable energy estراتيجies for sustainable development,» *Energy*, vol. 32, pp. 912-919, 2007.
- [27] Danish Energy Agency, « Data, statistics, tables, maps. Energy in Denmark 2013. Copenhagen.,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.ens.dk/en>.
- [28] A. Rosenfeld, «The Art Of Energy Efficiency: Protecting the Environment with Better Technology,» *Annu. Rev. Energy Environ.* , vol. 24, p. 33–82 , 1999.
- [29] Wikipedia, «The Rosenfeld Effect - California Energy Commission,» Wikipedia, 2020. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Rosenfeld_Effect.
- [30] A. Bloch Lovin, B. Laponche, S. Attali, B. Jamet y M. Colombier, «Energy Efficiency for a Sustainable World, ICE,» 1997.
- [31] A. Rosenfeld,, «The Art Of Energy Efficiency: Protecting the Environment with Better Technology,» *Annu. Rev. Energy Environ. Annu. Rev.*, vol. 82, p. 24:33, 1999.
- [32] Wikipedia , «Arthur Rosenfeld,» 2024. [En línea]. Available:

- https://en.wikipedia.org/wiki/Arthur_H._Rosenfeld.
- [33] S. Gil, «Energía -Perspectiva Argentina,» *Ciencia Hoy*, NOv. 2006.
- [34] M. Gastiarena y a. et, «Gas versus Electricidad: Uso de la energía en el sector residencial,» *Revista PETROTECNIA*, vol. LVI, pp. 50-60, Abril 2017.
- [35] Wikipedia, «Purchasing power parity,» 2020. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Purchasing_power_parity.
- [36] Our World In Data, «Economic Growth,» [En línea]. Available: <https://ourworldindata.org/economic-growth>.
- [37] Our World In Data, «GDP per capita of different countries, 1 to 2016,» 2020. [En línea]. Available: <https://ourworldindata.org/grapher/maddison-data-gdp-per-capita-in-2011us-single-benchmark>.
- [38] A. Bermejo, J. Fiora y S. Gil, «Variacion del consumo electrico de heladeras por apertuta de puertas y carga de alimentos,» *ERMA ???*, 2019.
- [39] C. Footprint, «Carbon Footprint Desarrollado por RADsite,» 2019. [En línea]. Available: <https://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx?lang=es>.
- [40] C. Barras, «Transformers: 10 revolutions that made us human,» *New Scientist*, pp. 32-36, 22 Oct. 2014.
- [41] R. Wrangham, *Catching Fire: How Cooking Made Us Human*, London, UK: Profile books, Basic Books, 2009.
- [42] H. D. y. R. A. F. Young, *Física universitaria volumen 1*, D. edición., Ed., México, 2009.: Pearson Educación, 2009.