



Energía y Sustentabilidad

Energía - Agua - Alimentos - Transporte

Trabajo Calidad de Vida

Fuentes Generación

Disponibilidad Transporte

Servicio Público / Privado

Distribución

Marco regulatorio

Acceso

Ingresos

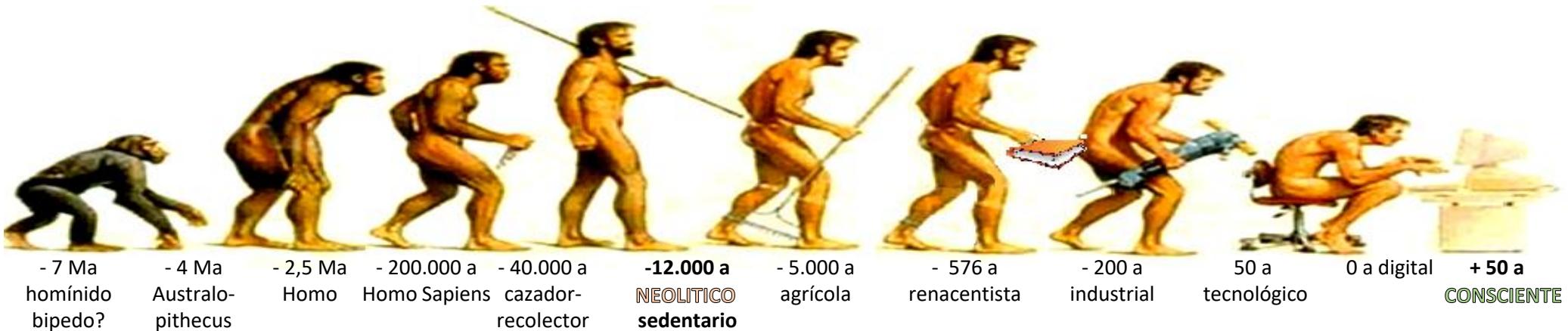
Tarifas



Energía y Sustentabilidad

- 1. Bienestar Energético**
- 2. Sustentabilidad Energética**
- 3. Fuentes de Energía**
- 4. Densidad Energética**
- 5. Transición Energética**
- 6. Estrategia de Electrificación en Misiones**
- 7. Impacto Ambiental y Biodiversidad**
- 8. Viabilidad Económica de Tecnologías**

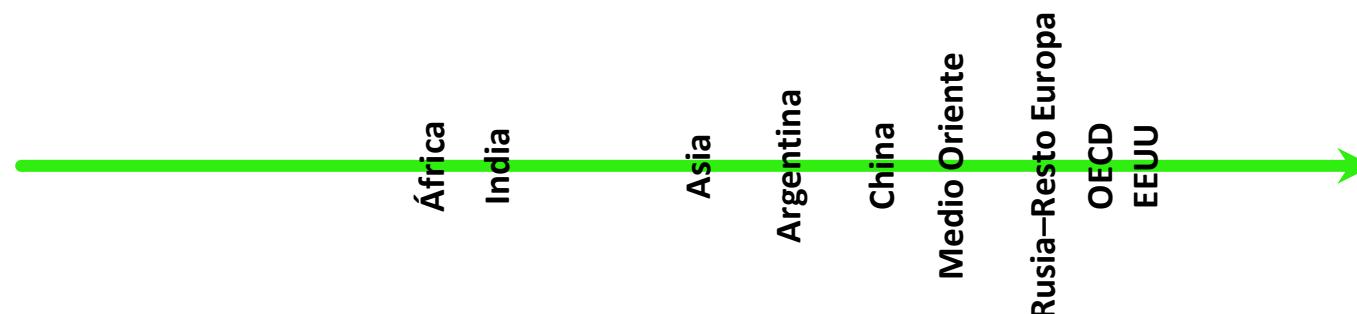
La Evolución del Hombre



HAMBRUNAS - GUERRAS 100Mhab – EPIDEMIAS 1Mhab

| | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|--------|--------|---------------|----------------|------------------|
| millones de habitantes | 3 | 100 | 500 | 1.000 | <u>2.500</u> | <u>7.200</u> | <u>9.700</u> ? |
| kcal / día / habitante | 2.400 | 5.000 | 12.000 | 25.000 | <u>60.000</u> | <u>125.000</u> | <u>240.000</u> ? |
| GTEP anuales de energía primaria | 0,09 | 0,19 | 0,46 | 0,76 | 2,29 | 4,77 | <u>13,5</u> |

2025 NO TODOS SOMOS IGUALES



El Bienestar Energético

La energía no es un fin en sí mismo; sino la **herramienta fundamental que nos proporciona bienestar y desarrollo**.

Un hogar tiene **acceso a la energía** cuando puede usarla para obtener iluminación, cocción, agua caliente sanitaria, climatización, fuerza motriz.

Acceso significa **abundancia, accesibilidad, bajo precio**.

Si a estos requisitos le agregamos los de no contaminante, eficiencia y resiliencia, pasamos a hablar de **energía y sustentabilidad**

La triada de la sustentabilidad energética

| Pilares de la Sustentabilidad | Aspectos Clave | ¿Por qué es importante? |
|---|-----------------------------|--|
| 1. Seguridad Energética (Económico/Resiliencia) | Abundancia, Resiliencia | Garantiza el suministro continuo y estable para todos los usuarios a precios razonables . Implica diversificación de fuentes y la capacidad de respuesta ante fallas. |
| 2. Equidad Social (Accesibilidad) | Accesibilidad, Beneficio | Asegura que todos, independientemente de su ubicación o nivel socioeconómico, tengan acceso a servicios energéticos modernos (iluminación, cocción, refrigeración, fuerza motriz). |
| 3. Sostenibilidad Ambiental | No Contaminante | Se centra en la mitigación del impacto ambiental. Prioriza la eficiencia energética y la transición hacia fuentes con bajas o nulas emisiones de carbono . |

Conceptos fundamentales

➤ Fuentes de energía primaria

(Directas: hidráulica – eólica – solar / Indirectas: petróleo – carbón – uranio – biomasa)

➤ Energías Secundarias y Vectores energéticos

(electricidad –GN red/GLP/GNC/GNL –combustibles líquidos –carbón –biocombustibles –celdas H2)

➤ Formas de energía

(mecánica – térmica – radiante –química – eléctrica – nuclear)

➤ Servicios Energéticos

(movimiento – luz – calor – frío - agua)

➤ Sistema Energético

(recursos → centros de transformación → vectores intermedios → almacenamiento → demanda)

Energía y Sustentabilidad

- ✓ Una fuente de energía puede ser renovable y no emitir contaminantes durante su operación, pero tener un impacto ambiental significativo en su construcción y ciclo de vida que la aleja del ideal de energía verde.

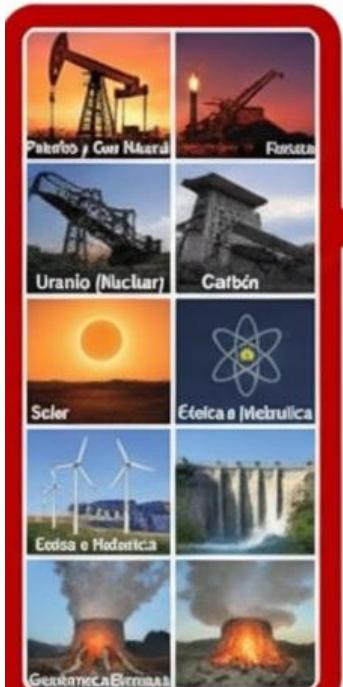
Renovable no es sinónimo de verde

Energía y Sustentabilidad

- ✓ La **diferencia clave** entre las diferentes **fuentes de energía** radica en su **escala, impacto ambiental, resiliencia** (renovable o no) y **rol en la red eléctrica**.
- ✓ Al hablar de energía hay que hablar de “**sistemas de energía**” -una red, un continente – país – provincia – localidad, una empresa o incluso un hogar.

El Sistema Energético

ENERGÍA PRIMARIA



ENERGÍAS SECUNDARIAS

Vectores
intermedios

Centros de
transformación

Centros de
Transformación

Vectores de consumo

Centros de
transformació

Centros de
consumo



$$\eta_{NETO} = \eta_1 \eta_3 \eta_4 .. \eta_n$$

EL RECURSO

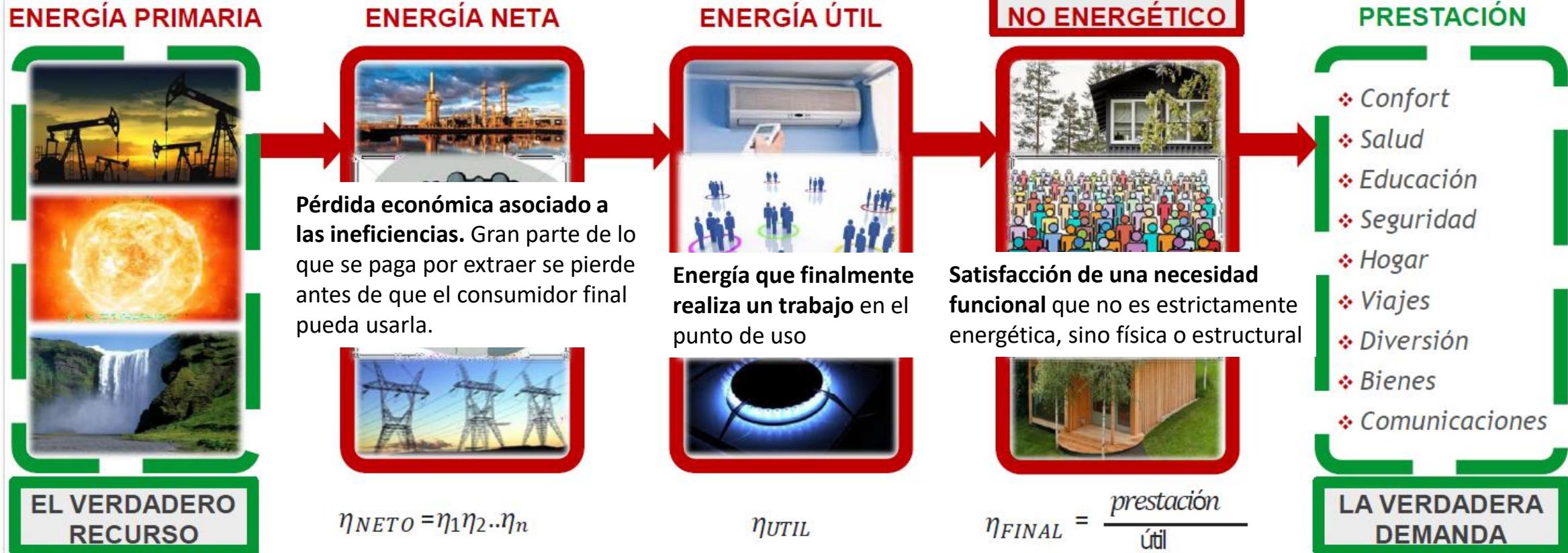
ENERGÍA ÚTIL



LA DEMANDA

La Verdadera Demanda

NUEVO PARADIGMA | LA VERDADERA DEMANDA



FUENTE: UNaM - Facultad de Ingeniería – Laboratorio de I+D Energía Eléctrica

El consumo energético está, en última instancia, impulsado por necesidades humanas.

Energía y Sustentabilidad

Fuente renovable no convencional (FRNC):

- ☺ se reponen de forma natural en una escala de tiempo humana y su explotación no disminuye su disponibilidad a largo plazo,
- ☺ son primarias y con bajo o nulo impacto en GEI; están en el centro de las políticas de descarbonización a nivel global,
- ☺ la mayoría se utilizan para generar electricidad, (fotovoltaica, pequeñas hidroeléctricas, biomasa, eólica, geotérmica, mareomotriz, olamotriz),
- ☹ su **intermitencia** (dependencia del clima o la hora del día) presenta desafíos para la estabilidad de la red y la satisfacción de la demanda; requieren por tanto sistemas de almacenamiento (baterías) o **respaldo de otras fuentes para garantizar un suministro suficiente y constante.**

Energía y Sustentabilidad

Fuentes limpias sustitutos del petróleo:

Hidráulica (renovable)

- ☺ Grandes represas amigables con el ambiente y la sociedad.
- ☺ Económicamente sustentables con proyectos de menor Costo Nivelado de Energía.
- ☺ Energía eléctrica de base (despachable). Multipropósito: navegación, regulación de crecidas, riego, agua potable, saneamiento, turismo.
- ☺ Gran acumulador de energía; flexibles, permiten el despliegue de ERNC.
- ☺ Vulnerable a sequias, necesitan represa compensadora para mayor eficiencia.
- ☺ Los beneficios deben considerarse internalizando los costos sociales y ambientales.
- ☺ Ventaja económica sujeta a sobrecostos masivos y estructural de subsidios.

Energía y Sustentabilidad

Fuentes limpias sustitutos del petróleo

Nuclear (no renovable)

- ☺ Producción sumamente eficiente de grandes cantidades de electricidad con alto factor de carga, costo nivelado de energía superior a la hidráulica.
- ☺ No emite GEI
- ☺ Minima ocupación de suelo
- ☹ Genera residuos radiactivos de largo plazo
- ☹ Riesgos de accidentes catastróficos; rechazo social ALTO
- ☹ Vulnerable a ataques

La transición energética

El gas natural y su rol en la transición energética

La evolución del almacenamiento en baterías

El H2 verde como vector del futuro

Energía y Sustentabilidad

Vectores energéticos de transición:

El Gas Natural (GN, GPL, GNC, GNL) y las tecnologías como la Captura de CO₂ (CCS/CCU), los combustibles sintéticos basados en fósiles/azules (e.g., Metanol azul, H₂ azul) son vistos por muchas legislaciones como tecnologías clave de **transición** o como necesarias para descarbonizar los sectores más difíciles (industrias pesadas, aviación), pero **no como el objetivo final** de cero emisiones netas, que se basa en la producción de vectores a partir de fuentes renovables.

- CCS: Captura y Almacenamiento de Carbono (*Carbon Capture and Storage*).
- CCU: Captura y Utilización de Carbono (*Carbon Capture and Utilization*).

Energía y Sustentabilidad

Vectores energéticos estratégicos:

Electricidad

Se produce a partir de una fuente primaria, no se extrae directamente de la naturaleza.

Hidrógeno Verde

Se produce por electrólisis, a partir de una fuente primaria directa como la solar o eólica.

Biogás

Producido por la digestión anaeróbica de biomasa.

Biocombustibles

(Bioetanol, Biodiésel)

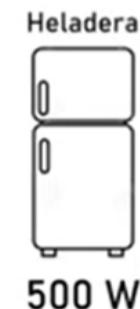
Combustibles secundarios, se producen a partir de biomasa.

La densidad energética

La densidad energética es crucial porque determina cuánto trabajo y autonomía se puede obtener con un peso (Gravimétrica) o volumen (Volumétrica) determinado de combustible.

- ✓ Un valor alto de kWh/kg significa que se puede **recorrer más distancia cargando menos peso**
- ✓ Un valor alto de kWh/l significa que se puede **almacenar mucha energía en un espacio pequeño**

Un kWh equivale a la energía necesaria para mantener encendido un aparato de 1.000 watt (1 kW) durante una hora.



La densidad energética de los vectores

| Combustible | Estado y Vector | Energía Gravimétrica (PCS - KWh/kg) | Energía Volumétrica (PCS - kWh/l) |
|----------------|--|--|--------------------------------------|
| Diésel | Líquido | 12,5 | 10,6 |
| Nafta | Líquido | 12,8 | 9,4 |
| GLP | Líquido (4 bar butano y 14 bar propano) | 13,9 | 7,8 |
| GNC | Comprimido (\approx 200 bar) | 15,3 | \approx 6,4 |
| GNL | Criogénico (\approx -162°C) | 15,3 | \approx 7,5 |
| H2 Gaseoso | Presión atmosférica | \approx 33,3 | 0,003 |
| H2 Comprimido | Comprimido a \approx 700 bar) | \approx 33,3 | \approx 2,2 |
| H2 Líquido | Criogénico \approx -253°C | \approx 33,3 | \approx 2,4 |
| Batería Li-ion | Alta densidad (LFP) | 0,10 - 0,16 | |
| Batería Li-ion | Alta densidad (NMC o NCA) | 0,25 - 0,30 | \approx 0,6 |

Las características

- ✓ El GN (estado natural a p.a) presenta una "debilidad energética volumétrica" (es la energía más barata para usos estacionarios)
- ✓ La Nafta y el Gasoil requieren tanques simples, mientras que el Gas y el Hidrógeno requieren compresión (GNC, H₂ Comprimido) o licuefacción (GLP, GNL, LH₂) para alcanzar una densidad energética útil en vehículos.
- ✓ EL GLP (mezcla propano/butano) envasado líquido a baja presión, ideal zonas sin red GN.
- ✓ 1 litro de gas natural por redes contiene 567 veces menos energía que 1 litro de gasoil, lo que justifica la necesidad de compresión (GNC).
 - ✓ Transporte Terrestre (Autonomía): Diésel, Nafta, GNC, GNL.
(alta energía volumétrica, con poco volumen de tanque se logra una autonomía razonable)
 - ✓ Transporte Aéreo/Espacial (el peso es determinante): H₂ por su energía gravimétrica
(con poca masa de combustible se logra mucha autonomía con menor peso del sistema)

Usos de los vectores energéticos

| Vector de Energía | Densidad Energética Gravimétrica | Autonomía de un Vehículo (Ejemplo) | Uso Doméstico Práctico |
|------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Combustibles Líquidos (Diésel) | 12,5 kWh/kg | 1 kg mueve un coche compacto 80 km | 1 kg cubre el consumo de un hogar pequeño durante 2 días |
| Gas Natural (GNL) | 15,28 kWh/kg | 1 kg mueve un camión de carga pesada 10 km | 1 kg cubre el consumo de un hogar pequeño durante 2,6 días |
| Hidrógeno (H ₂ Líquido) | 33,3 kWh/kg | 1 kg de H ₂ podría mover un vehículo de celda de combustible 200 km | 1 kg de H₂ podría satisfacer el consumo energético de un hogar pequeño durante más de 5,6 días. |
| Batería Ion-Litio (Li-ion) | 0,25 kWh/kg | para mover el mismo coche 80 km se necesitan 50 kg de batería. | 1 kg cubre el consumo de un hogar pequeño solo durante 1 hora |

Evolución tecnológica de las baterías Li-ion

| Año | Costo Promedio (Paquete, USD/kWh) | Reducción Anual | Comentario Clave |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------|---|
| 2010 | 1.200 USD/kWh | - | Los VE eran prohibitivos por el costo de la batería. |
| 2017 | 230 USD/kWh | Fuerte | Economías de escala impulsadas por Tesla y la demanda china. |
| 2021 | 140 USD/kWh | Importante | Costo se acerca a niveles comerciales viables. |
| 2022 | 151 USD/kWh | Aumento | Primer aumento desde 2010, debido a la inflación y el encarecimiento de materias primas (Litio, Cobalto, Níquel). |
| 2024 Actual | 115 USD/kWh | Record | Caída récord por sobreproducción, mejora de la cadena de suministro y el auge de las baterías LFP (más baratas). |
| 2026 Proyección | USD/kWh | Proyectado | El hito que permitiría a los VE ser más baratos que los de combustión interna, incluso sin subsidios. |

El mercado de baterías eléctricas Li-ion

| Característica | NMC (Níquel-Manganoso-Cobalto) | LFP (Litio Ferrofósfato) |
|---|--|---|
| Uso Principal | Vehículos Eléctricos Alto Rendimiento y Largo Alcance. | Almacenamiento Estacionario (Redes, Solar) y VE de Rango Estándar. |
| Densidad Energética Gravimétrica | Alta 0,25 - 0,30 kWh/kg | Baja 0,10 – 0,16 kWh/kg |
| Costo (Celda USD/kW | Mayor Debido al Níquel y Cobalto | Menor (El Fe y P son más abundantes). Las celdas LFP han caído por debajo de 100 USD/kWh. |
| Ciclo de Vida / Longevidad | Moderado 1000 a 2.000 ciclos | Excelente 3.000 a 6.000 ciclos o más |
| Seguridad | Menor estabilidad térmica, riesgo de "fuga térmica" (incendio) si se daña. | Muy alta Estabilidad térmica, mucho más seguras. |

- ✓ **NMC** para vehículos donde cada kg cuenta para maximizar la autonomía.
- ✓ **LFP** para aplicaciones donde la seguridad, el bajo costo y la vida útil son más importantes que la densidad:
baterías solares domésticas o proyectos de almacenamiento en red).

Costo por unidad de energía e inversión inicial requerida.

| Vector Energético | Uso Principal | Costo (ud energía) | Inversión Inicial | Observación Económica Clave |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------|---|--|
| Nafta/ Gasoil | Vehicular | Alto | Baja Equipamiento estándar | Alto costo operativo por unidad de energía. |
| GN por Redes | Domiciliario /Industrial | Muy Bajo | Media Conexión a la red | El más económico para consumo fijo. |
| GLP | Vehicular | Bajo a Moderado | Media Conversión del vehículo | Ofrece un ahorro moderado y menor inversión que el GNC. |
| GNC | Vehicular | Muy Bajo | Alto Conversión de vehículo y cilindros | Mayor ahorro en combustible, requiere alta amortización por km. |
| Hidrógeno (Gris/Azul) | Vehicular/ Industrial | Medio | Muy Alto (Planta y vehículo de pila de combustible) | Costo por km actualmente similar o superior a la Nafta/Gasoil (aún en fase de desarrollo comercial). |

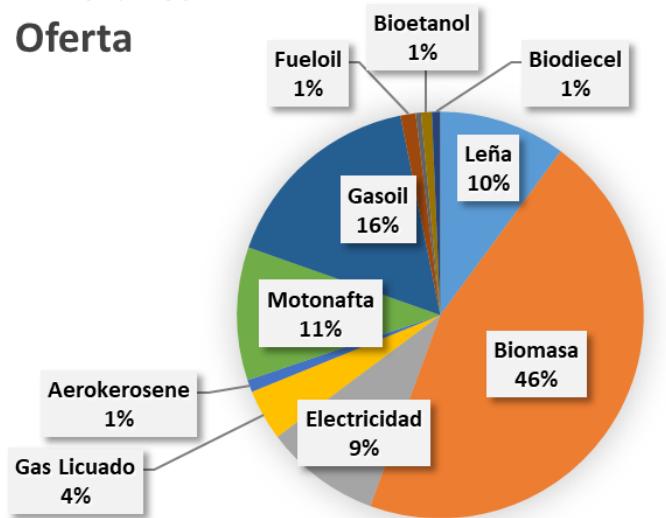
La energía en Misiones

El Balance Energético Provincial

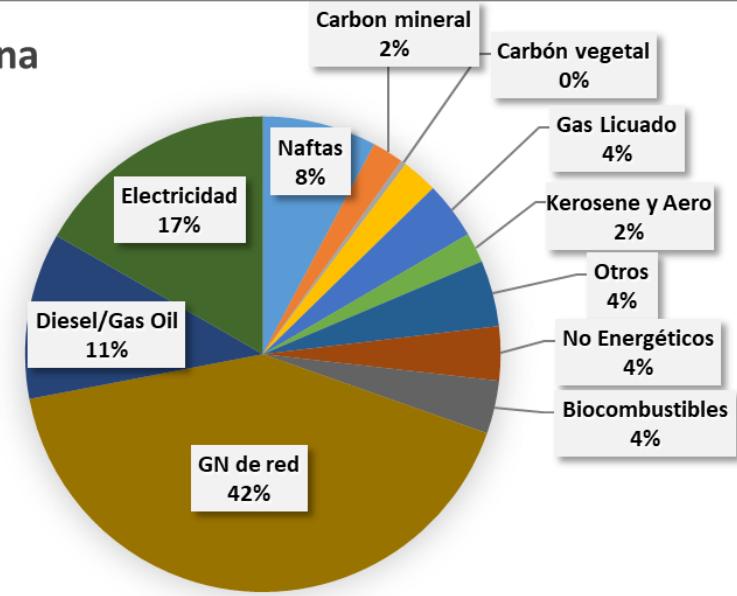
El Sistema Interconectado Provincial

La necesaria electrificación

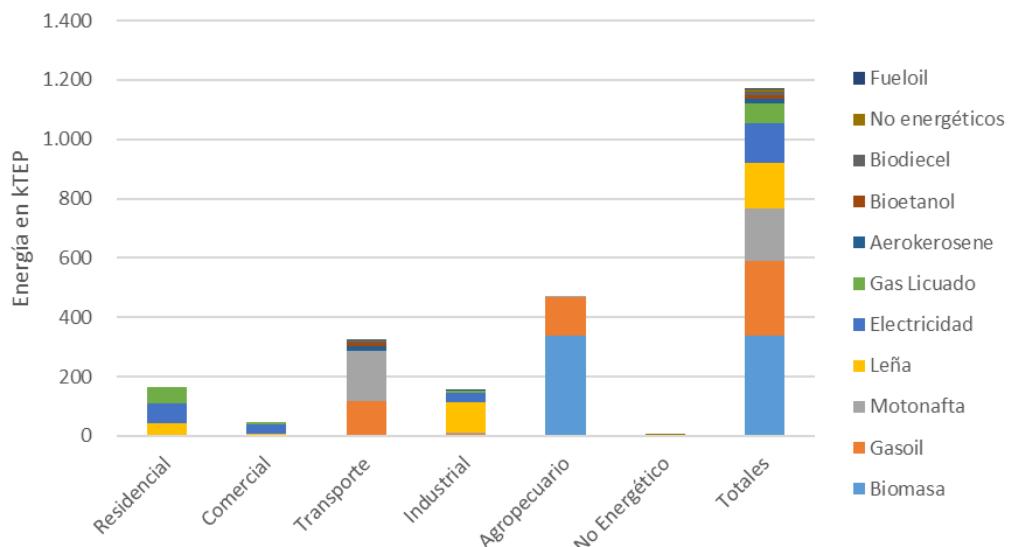
BEP Misiones Oferta



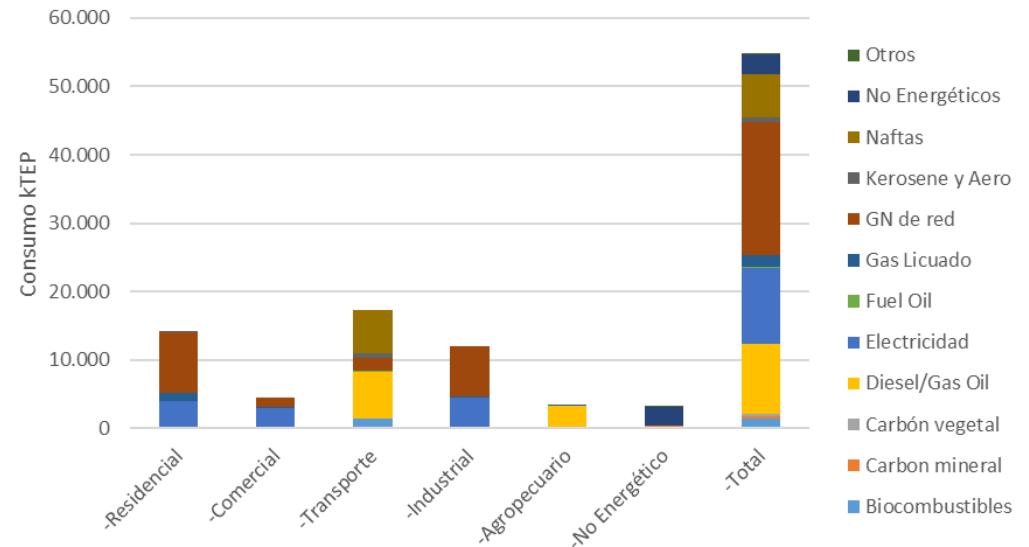
BEN Argentina Oferta



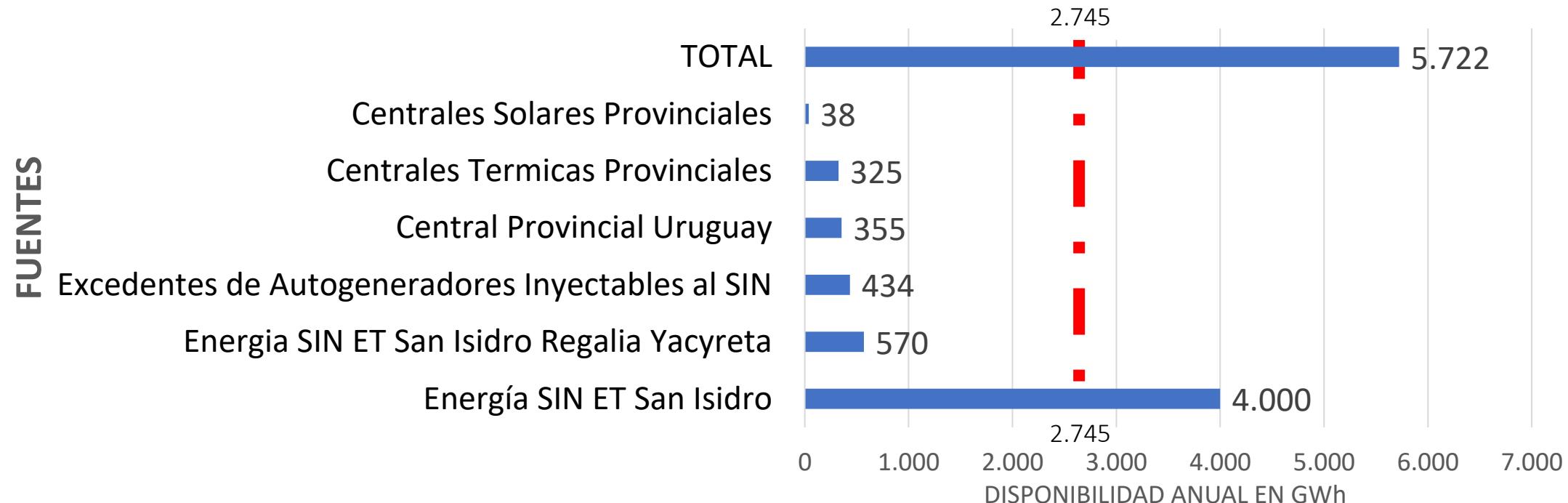
BEP Misiones - Consumo



BEN Argentina - Consumo



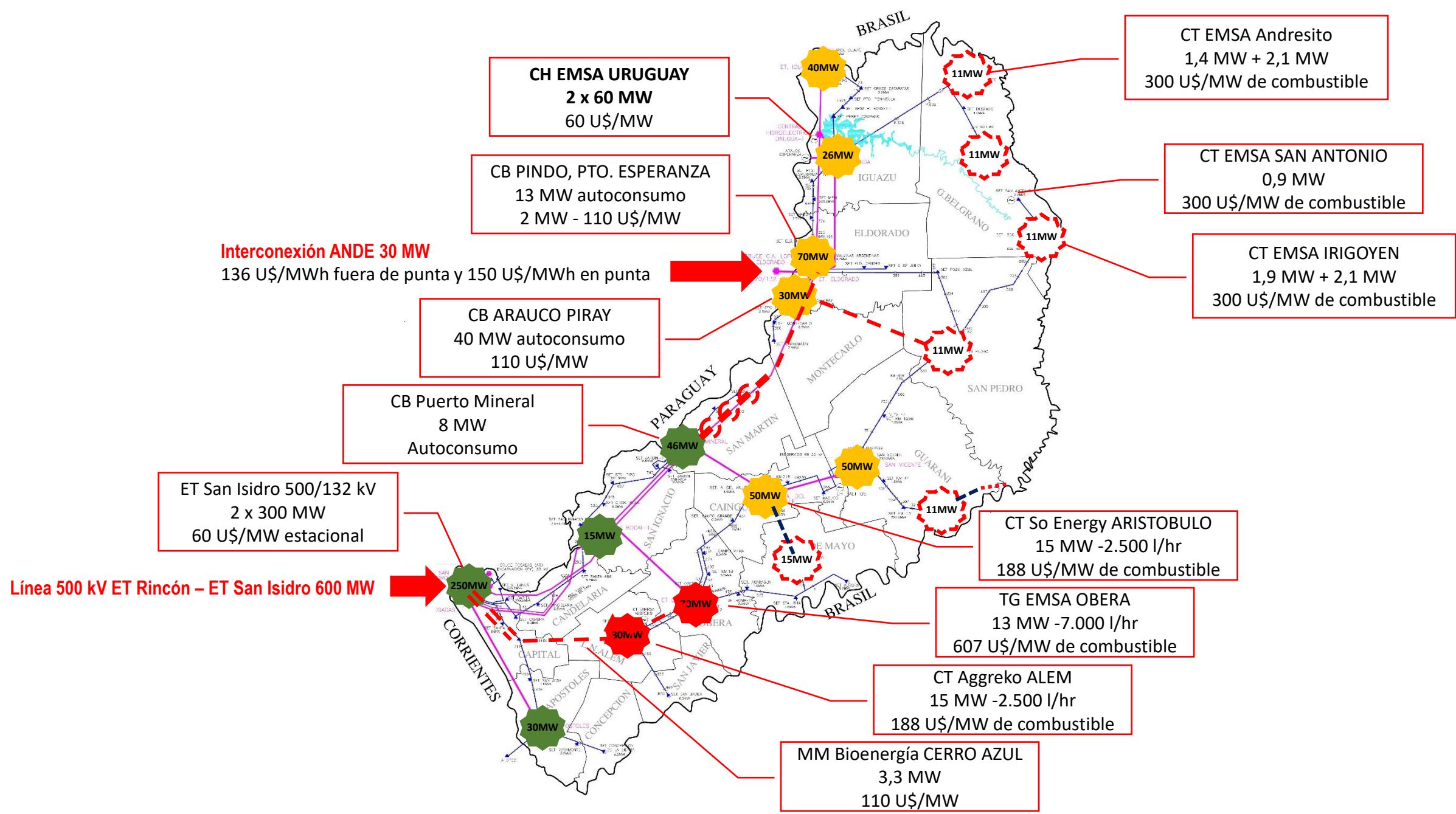
La disponibilidad de electricidad en Misiones



La demanda de electricidad año 2024 fue de **2.745 GWh** (récord histórico)

Los **4.570 GWh** del SIN ET San Isidro, solo están disponibles en Posadas (restricciones en la transmisión)

- _ **53% de la electricidad consumida es a precio del SIN, incluida la de las plantas de biomasa**
- _ **cubrimos solo el 14% con ERNC y un 10% con las regalías de Yacyreta**
- _ **6% de la electricidad es a precio de plantas diesel “delivery” operadas por EMSA**



La electrificación como estrategia misionera

La electricidad no se "almacena" ni se mide por peso, sino que es el medio más eficiente para transportar energía..

Su gran ventaja pasa por ser una forma de energía limpia, de flujo instantáneo y de gran eficiencia en el punto de uso: la energía transmitida por un conductor es virtualmente ilimitada

Electrificar es la mejor estrategia energética para Misiones, profundizar la electrificación (hogares y transporte) aprovechando la capacidad hidroeléctrica provincial.

**Electricidad Abundante, Asequible , de Bajo Precio, No Contaminante y Resiliente,
COMO ELEMENTO CENTRAL E IMPRESINDIBLE**

La electrificación como estrategia misionera

- ✓ **ABUNDANTE:** suficiente capacidad de generación para satisfacer la demanda y por tanto no habrá cortes por falta de energía, asegurar la demanda actual y futura.
- ✓ **ACCESIBLE:** hacer llegar la energía mediante infraestructura de transmisión y distribución que alcance a todas las poblaciones, **todos los hogares conectados**.
- ✓ **BAJO PRECIO:** un precio justo y asequible **permite que el consumidor pueda utilizar la energía** en volúmenes que permitan el desarrollo económico y calidad de vida
- ✓ **NO CONTAMINANTE Y RESILIENTE:** una red inteligente garantiza el acceso a un **servicio de energía de calidad** y facilita el despliegue de ERNC distribuidas (combate al CC), lo que fortalece la infraestructura energética y asegura su estabilidad ante cualquier interrupción.

**Cuanta energía eléctrica
necesita la sociedad
misionera para alcanzar
IDH altos a muy altos?**

Consumo de Electricidad Anual Per Cápita

| País | IDH | Consumo Eléctrico Anual (kWh per cápita) | Potencia Media Constante (W per cápita) | Potencia Pico (W per cápita) |
|-----------------|--------------|---|--|---------------------------------|
| Islandia | Muy Alto | 51.920 | 5.930 | 9.000 |
| Canadá | Muy Alto | 15.708 | 1790 | 2200 |
| Japón | Muy Alto | 7.000 | 800 | 1.600 |
| Chile | Alto | 4.240 | 480 | 960 |
| Argentina | Alto | 3.160 | 360 | 635 |
| Buenos Aires | Alto | 4.500 | 500 | 1.250 |
| Córdoba | Alto | 3.500 | 400 | 1.000 |
| Misiones | Medio | 2.200 | 250 | 643 |

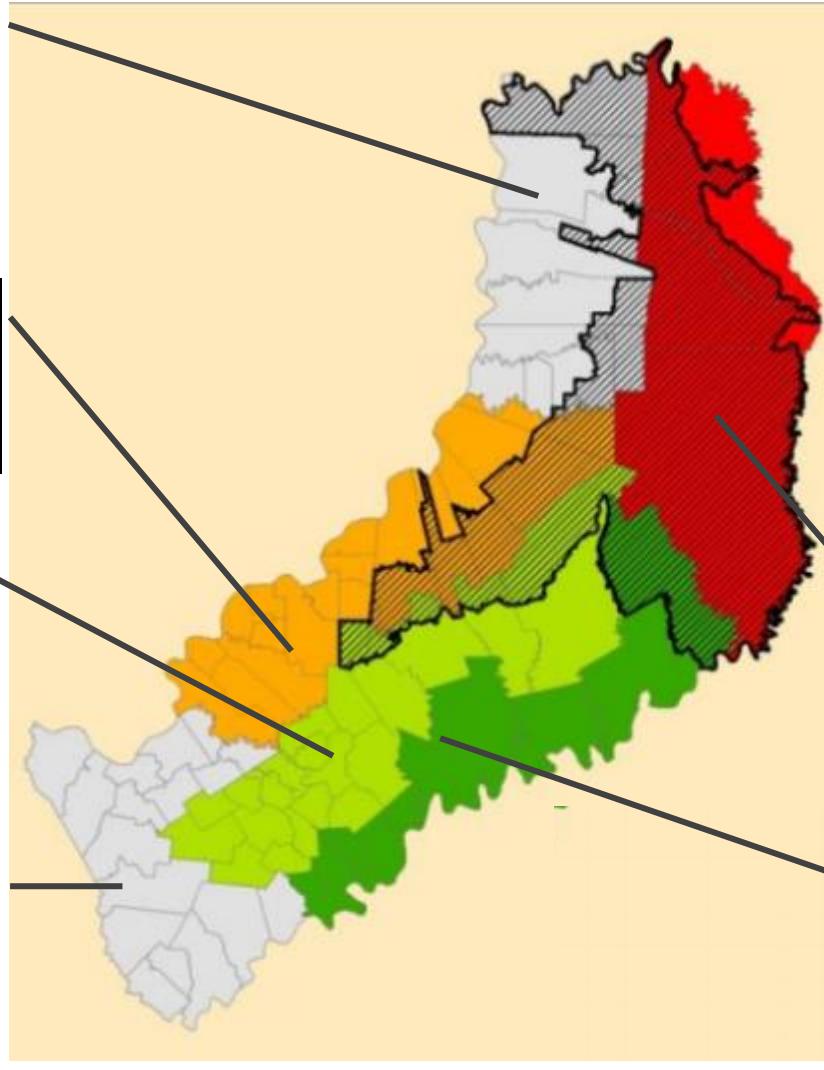
La potencia eléctrica para un IDH alto

| #5 Noroeste | 2025 | 2035 |
|------------------------|---------|---------|
| Demanda Máxima [MW] | 103 | 195,5 |
| Población | 191.824 | 217.197 |
| Demanda Per Capita [W] | 537 | 900 |

| #3 Centro Oeste | 2025 | 2035 |
|------------------------|---------|---------|
| Demanda Máxima [MW] | 59 | 157,4 |
| Población | 154.491 | 174.926 |
| Demanda Per Capita [W] | 382 | 900 |

| #2 Centro | 2025 | 2035 |
|------------------------|---------|---------|
| Demanda Máxima [MW] | 120 | 287,4 |
| Población | 282.048 | 319.355 |
| Demanda Per Capita [W] | 425 | 900 |

| #6 Sur | 2025 | 2035 |
|------------------------|---------|---------|
| Demanda Máxima [MW] | 302 | 470,9 |
| Población | 462.088 | 523.209 |
| Demanda Per Capita [W] | 654 | 900 |



| TOTAL MISIONES | 2025 | 2035 |
|------------------------|-----------|-----------|
| Demanda Máxima [MW] | 642,9 | 1303,7 |
| Población | 1.279.323 | 1.448.540 |
| Demanda Per Capita [W] | 503 | 900 |

Tasa crecimiento intercensal 2010-2022: 16 %
 Tasa crecimiento poblacional anual media: 1,25 %
 Consumo EE 2024 SIP Pcia. Mns.: 2.752 GWH
 Potencia pico SIP Pcia. Mns. 2024: 643 MW
Potencia media constante per capita Pcia. Mns.: 246 W

| #4 Noreste | 2025 | 2035 |
|------------------------|--------|--------|
| Demanda Máxima [MW] | 39,4 | 81,9 |
| Población | 80.371 | 91.002 |
| Demanda Per Capita [W] | 490 | 900 |

| #1 Alto Uruguay | 2025 | 2035 |
|------------------------|---------|---------|
| Demanda Máxima [MW] | 19,5 | 110,6 |
| Población | 108.501 | 122.853 |
| Demanda Per Capita [W] | 180 | 900 |

La electrificación como estrategia misionera

- La gran ventaja competitiva de Misiones es el agua.
- Una fuente de generación propia, limpia y potente
- Esta ventaja estratégica desplegada, puede convertirse en la base para un crecimiento económico y social que mejore la calidad de vida de cada misionero

Energía y Sustentabilidad

La Sustentabilidad Energética en Misiones no solo significa generar más energía limpia, sino **cerrar la brecha de electrificación de los usos finales para elevar el estándar de vida y la productividad**, al tiempo que se sustituyen los combustibles contaminantes: **lograr simultáneamente los objetivos globales de conservación de la energía, el clima y la biodiversidad.**

La estrategia de electrificación total

| Aspecto | Estrategia de Electrificación | Razón |
|--------------------------|-------------------------------|---|
| Costo de Infraestructura | Bajo | No requiere construir miles de kilómetros de gasoductos troncales caros. La infraestructura eléctrica (redes de distribución y subestaciones) ya existe y se potencia con inversiones locales. |
| Soberanía y Seguridad | Alto | La energía se genera localmente (represas de bajo impacto), reduciendo la dependencia de otra provincia o país para el suministro de gas, eliminando el riesgo de interrupciones en el gasoducto. |
| Eficiencia Energética | Alta | La calefacción, el agua caliente y la cocción por inducción o bomba de calor son mucho más eficientes que los sistemas de combustión a gas, reduciendo el consumo energético final. |
| Impacto Ambiental | Bajo | La generación hidroeléctrica es limpia (cero emisiones en el punto de uso), apoyando una matriz energética más verde. Es energía de base que permite el despliegue de ERNC distribuidas (solar, PCH) y la preservación de la selva. |
| Flexibilidad | Alta | La energía eléctrica es el vector más versátil. Puede usarse en vehículos (Baterías Li-ion), en la industria (hornos de inducción) y en el hogar. |

**Como evaluamos las
alternativas energéticas
para cuidar la biodiversidad
de la selva misionera y
nuestra salud?**

Evaluación Ambiental Multicriterio

- ✓ El Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV) es la **herramienta de diseño rigurosa para evaluar los impactos ambientales de los vectores energéticos** durante todas las etapas de su existencia, desde la extracción hasta el fin de vida.
- ✓ Para una evaluación estratégica, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) **debe ser multicriterio, utilizando metodologías reconocidas como ReCiPe o UseTox y siguiendo las normas ISO 14040 y 14044.**

Evaluación Ambiental Multicriterio

- ✓ ReCiPe es una metodología amplia para evaluar todos los impactos ambientales, mientras que UsoTox es la herramienta especializada de referencia utilizada para calcular específicamente la toxicidad.
 - ✓ Función Principal: Traduce las sustancias emitidas y los recursos consumidos (los datos del Inventario del Ciclo de Vida) en múltiples categorías de impacto ambiental, como cambio climático, agotamiento de recursos y, por supuesto, ecotoxicidad.
 - ✓ Enfoque Clave: Permite una evaluación completa de los impactos de un producto o proceso. Sus resultados se pueden expresar tanto a nivel intermedio (Midpoint) como a nivel de daño final (salud humana, calidad del ecosistema, etc. (Endpoint).

Plantas de energía - Etapas de análisis:

1. **Extracción de materias primas**: minería de uranio (nuclear), bauxita y cobre (solar, eólica), carbón (plantas de carbón), petróleo, gas, etc.
2. **Construcción**: fabricación de componentes (paneles solares, turbinas eólicas, reactores nucleares), uso de concreto, acero y otros materiales.
3. **Operación y mantenimiento**: consumo de agua y energía para el funcionamiento de la planta y la infraestructura asociada.
4. **Desmantelamiento y gestión de residuos**: desmontaje de estructura, reciclaje de materiales y manejo de los residuos peligrosos o radiactivos

Indicadores – Categorías de impacto

- **Huella de Carbono** (Impacto Climático)
- **Contaminación y Salud Humana** (Impacto No Climático)
- **Agotamiento de recursos** (Impacto No Climático)
- **Ecotoxicidad y Salud Humana** (Impacto No Climático)
- **Uso del Suelo** (Impacto No Climático)
- **Huella Hídrica** (Azul, Verde, Gris)
- **Consumo de Energía**
- **Eutrofización** (concentración de nutrientes en medio acuático)

Evaluación Ambiental Multicriterio

➤ **Huella de Carbono del Ciclo de Vida (Impacto Climático)**

- **Combustibles Fósiles:** 90% emisiones de CO₂ - 64% total GEI – sector electricidad y calor 33% de GEI. El impacto dominante reside en la fase de uso.
- **Vectores Limpios (Electricidad e Hidrógeno Verde):** las mayores emisiones se desplazan a la fase de fabricación (CAPEX). La alta eficiencia operativa y las bajas emisiones del ciclo de combustible (**especialmente si el mix eléctrico es limpio**) compensan estas emisiones iniciales, resultando en una huella de GEI total significativamente menor a largo plazo.

La huella ambiental de la electricidad es altamente sensible a la matriz de generación: cualquier estrategia de electrificación debe ir acompañada de un mix de generación bajo en carbono para maximizar los beneficios ambientales.

Evaluación Ambiental Multicriterio

➤ Contaminación y Salud Humana (No Climático)

La producción de energía a partir de combustibles fósiles es una fuente primaria de contaminación atmosférica, liberando contaminantes peligrosos durante la combustión, como Óxidos de Nitrógeno, Dióxido de Azufre y Material Particulado. **La producción de electricidad y a partir de fuentes de energías limpias y su uso como vector, elimina estas emisiones locales de operación, lo que tiene un impacto directo y positivo en la calidad del aire urbano y la salud pública.**

Evaluación Ambiental Multicriterio

➤ Agotamiento de Recursos (No Climático)

- la **energía solar fotovoltaica**, la eólica y las baterías de almacenamiento , requieren metales raros y otros metales específicos (cobre, litio, cobalto, níquel, etc.).
- gran demanda global para estas tecnologías
- **Agotamiento:** se consumen más rápido de lo que la naturaleza los puede reponer o de lo que son económicamente viables de extraer.

La transición de los combustibles fósiles a las energías renovables no elimina la dependencia, sino que la transforma, pasando de la geopolítica de los hidrocarburos a la geopolítica de los minerales críticos y metales raros.

Evaluación Ambiental Multicriterio

➤ Ecotoxicidad y Salud Humana (No Climático)

Las nuevas tecnologías energéticas (como la solar y la eólica) en el proceso de fabricación y en su etapa de final de vida útil **liberan tóxicos que dañan los ecosistemas (ecotoxicidad)**:

- ⌚ la ecotoxicidad terrestre de un panel solar se debe a sus materiales y procesos, sobre todo la mega minería intensiva
- ⌚ la magnitud de ese daño depende de la huella de carbono y huella tóxica de la electricidad utilizada para fabricarlo

Evaluación Ambiental Multicriterio

➤ **Ecotoxicidad y Salud Humana** (No Climático)

La extracción, refinación y fabricación de componentes de renovables libera metales pesados, ácidos y otros químicos tóxicos al aire y al agua. Estos contaminantes, si no son gestionados correctamente, pueden lixiviarse (filtrarse) en el suelo o ser vertidos al agua.

La ecotoxicidad total de un sistema eléctrico depende de la composición del mix energético (si domina el carbón, el gas, la nuclear, la eólica, la solar, la hidráulica, etc.), ya que cada tecnología tiene perfiles de impacto diferentes.

Evaluación Ambiental Multicriterio

➤ **Ecotoxicidad y Salud Humana** (No Climático)

La cogeneración, si bien es eficiente en el uso de combustible, a menudo, durante la operación o por los residuos, hay una liberación de ciertos contaminantes que tienen un alto potencial de impacto en el suelo y los ecosistemas terrestres (ecotoxicidad terrestre).

En otras palabras, el perfil de emisiones y residuos de la cogeneración tiene un impacto desproporcionadamente alto en esta categoría específica de daño ambiental.

Evaluación Ambiental Multicriterio

➤ Uso del Suelo (iLUC) (No Climático)

Lograr simultáneamente los objetivos globales de conservación de la energía, el clima y la biodiversidad tiene implicaciones significativas para el uso de la tierra.

Varios recursos minerales críticos conocidos se superponen o se encuentran cerca de tierras ricas en biodiversidad.

La transición a las energías renovables, aunque vital, puede generar competencia por el uso del suelo, lo que afecta a la biodiversidad.

Evaluación Ambiental Multicriterio

➤ **Uso del Suelo (iLUC) (No Climático)**

Para el análisis de vectores derivados de biomasa, es esencial considerar el riesgo de Cambio de Uso del Suelo Indirecto (iLUC). La expansión de cultivos energéticos (como la caña de azúcar o la palma de aceite) podría desplazar cultivos alimentarios o pastizales, induciendo una expansión o intensificación agrícola en otros sitios y generando efectos ambientales no deseados.

Proteger el 30% de la tierra y el agua del planeta para la misma fecha, se necesitan mecanismos robustos que desvíen los proyectos solares y eólicos de las áreas con mayor biodiversidad del mundo.

Síntesis de Impacto Ambiental ACV

(Por Etapa del Ciclo de Vida)

| Vector | Fase de Fabricación | Fase de Operación | Impacto Global Clave |
|--------------------------------------|---|--|--|
| Combustibles Fósiles | Bajo | Muy Alto (GHG, NOx, SO2, PM) | Cambio Climático, Contaminación Local |
| Hidroeléctrica (Grandes Represas) | Bajo/Moderado (Construcción de infraestructura) | Bajo (GEI de operación, pero emisiones de metano por reservorio) | Transformación territorial Ecosistemas Acuáticos Emisiones de metano |
| Electricidad (BEV/Renovables) | Alto (Metales Raros) | Medio (Dependiente del Mix) | Agotamiento de Recursos Ecotoxicidad |
| Hidrógeno Verde (FCEV) | Moderado (Celda de combustible, Tanques) | Mínimo (Vapor de agua) | Costo de Producción Desarrollo de Infraestructura |
| Electricidad (Carbón/Gas) | Bajo/Moderado | Alto (GHG, Contaminación) | Ecotoxicidad Terrestre |

EICV y compromisos ambientales

| Tecnología | Fase de Mayor Impacto CO2 | Huella Hídrica (Uso Consuntivo) | Minerales Críticos / Residuos |
|-----------------------------------|---|--|---|
| Carbón y Gas Natural | Operación (Combustión del combustible fósil) | Media a Alta. Uso intensivo de agua para enfriamiento y procesos de extracción. | Residuos de combustión (cenizas, lodos). |
| Hidroeléctrica (Grandes Represas) | Construcción (Concreto y Acero) | Alta (por evaporación del embalse). | Desafío principal: Uso de Tierra (inundación). |
| Nuclear | Construcción / Procesamiento de Urano | Media a Alta. Se utiliza mucha agua para el enfriamiento. | Residuos Radiactivos de alta actividad. |

EICV y compromisos ambientales

| Tecnología | Fase de Mayor Impacto CO2 | Huella Hídrica (Uso Consuntivo) | Minerales Críticos / Residuos |
|----------------------|--|---|--|
| Solar Fotovoltaica | Construcción (Fabricación de paneles) | Baja. Uso en fabricación y limpieza. | Silicio, Plata, Cadmio. Desafío de residuos electrónicos masivos. |
| Eólica | Construcción (Fabricación de turbinas, palas) | Muy Baja. Mínimo uso de agua. | Tierras Raras (en turbinas con imanes permanentes). Problema con el reciclaje de la fibra de vidrio de las palas. |
| Hidrógeno Verde (H2) | Construcción (Infraestructura de Electrólisis y Renovable asociada). | Alta en Producción. Se requiere agua pura para la electrólisis. | Níquel, Platino, Iridio (catalizadores en electrolizadores). Desafío en el transporte y almacenamiento. |

ELECTRICITY GENERATION TECHNOLOGY

RENEWABLE

FOSSIL FUEL



PHOTOVOLTAICS



CONCENTRATED SOLAR POWER



WINDPOWER



HYDROPOWER

COAL,
WITH CCS*COAL,
WITHOUT CCS*NATURAL GAS,
WITH CCS*NATURAL GAS,
WITHOUT CCS*GLOBAL ENERGY MIX
2010

GHG emissions



3%



4%



3%



10%



31%



138%



37%



84%



100%



Human health



12%



8%



7%



13%



174%



125%



132%



107%



100%



Ecosystem health



61%



127%



66%



5%



235%



166%



28%



21%



100%



Land use



44%



96%



3%



10%



187%



134%



2%



1%



100%



Material requirements



140%



353%



297%



343%



105%



54%



43%



22%



100%

**Las tecnologías disponibles,
plazos de proyectos y
viabilidad económica**

Plazos de Proyecto y Vida Útil

| Tecnología | Plazo Proyecto y Construcción (Años) | Vida Útil Operacional (Años) | Extensión de Vida Útil (Justificación ACV) |
|-----------------------------|--|------------------------------------|---|
| Carbón | > 3 | 30 - 50 | Las metas climáticas exigen reducir la v.u. a ~20 años (evitar activos varados) |
| Gas CCGT | < 3 | 30 - 40 | Inversión relativamente baja en CAPEX y alta eficiencia en ciclo combinado. |
| Hidroeléctrica (Grandes) | 5 – 10 + | 50 – 100 | Muy Alta. Extender su vida al máximo para amortizar el impacto inicial. |
| Nuclear | 6 – 10 + | 40 – 60 | Alta. a 80 años reduce significativamente el LCOE y el impacto per kWh. |

Plazos de Proyecto y Vida Útil

| Tecnología | Plazo Proyecto y Construcción (Años) | Vida Útil Operacional (Años) | Extensión de Vida Útil (Justificación ACV) |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------------|---|
| Hidrógeno Verde | 3 – 5 | 20 – 30 | Media. Vida útil de los componentes de electrólisis y almacenamiento. |
| Hidrógeno Azul | 4 – 6 | 30 – 40 | Media. Depende de la viabilidad a largo plazo del yacimiento de almacenamiento de CO2. |
| Solar Fotovoltaica | 1 – 3 | 25 – 30 | Media/Alta. Repotenciación con nuevos paneles. |
| Eólica | 1 – 3 | 20 – 25 | Media/Alta. Repotenciación con nuevas turbinas. |

Viabilidad económica

| Tecnología | Inversión Inicial (CAPEX) | Plazo de Retorno (TIR Aceptable) | LCOE (Costo Nivelado de la Energía) |
|----------------------|------------------------------|-------------------------------------|---|
| Solar y Eólica | Medio / Alto | Rápido (5 a 10 años). | El más bajo (Muy competitivo). |
| Hidroeléctrica | Muy Alto | Muy Largo (20 a 30 años). | Bajo (Una vez amortizada la deuda). |
| Carbón y Gas Natural | Alto | Mediano (7 a 12 años). | Medio-Alto. Volátil por el precio del combustible. |
| Nuclear | Extremadamente Alto | Largo (20 años o más). | Alto. Necesita un alto precio de venta para justificar el riesgo de construcción. |

Viabilidad económica

| Tecnología | Inversión Inicial (CAPEX) | Plazo de Retorno (TIR Aceptable) | LCOE (Costo Nivelado de la Energía) |
|-----------------|--|--|---|
| Hidrógeno Verde | Alto (Electrolizadores + Capacidad renovable dedicada) | Mediano-Largo (10 a 15 años, con subsidios). | Actualmente Alto (El costo está dominado por el precio de la electricidad renovable usada para producirlo). |
| Hidrógeno Azul | Alto (SMR + Unidad CCS + Gasoductos/ Almacenamiento) | Mediano-Largo (10 a 15 años, con subsidios). | Actualmente Alto (El costo está dominado por el precio del gas natural y el costo de la tecnología CCS). |

NOTA: SMR Reformado de Metano con Vapor, proceso industrial **dominante** para la producción de hidrógeno



Ing, Ricardo Charón