



Energía y Sustentabilidad

Energía - Agua - Alimentos - Transporte

Trabajo Calidad de Vida

Fuentes Generación

Disponibilidad Transporte

Servicio Público / Privado

Distribución

Marco regulatorio

Acceso

Ingresos

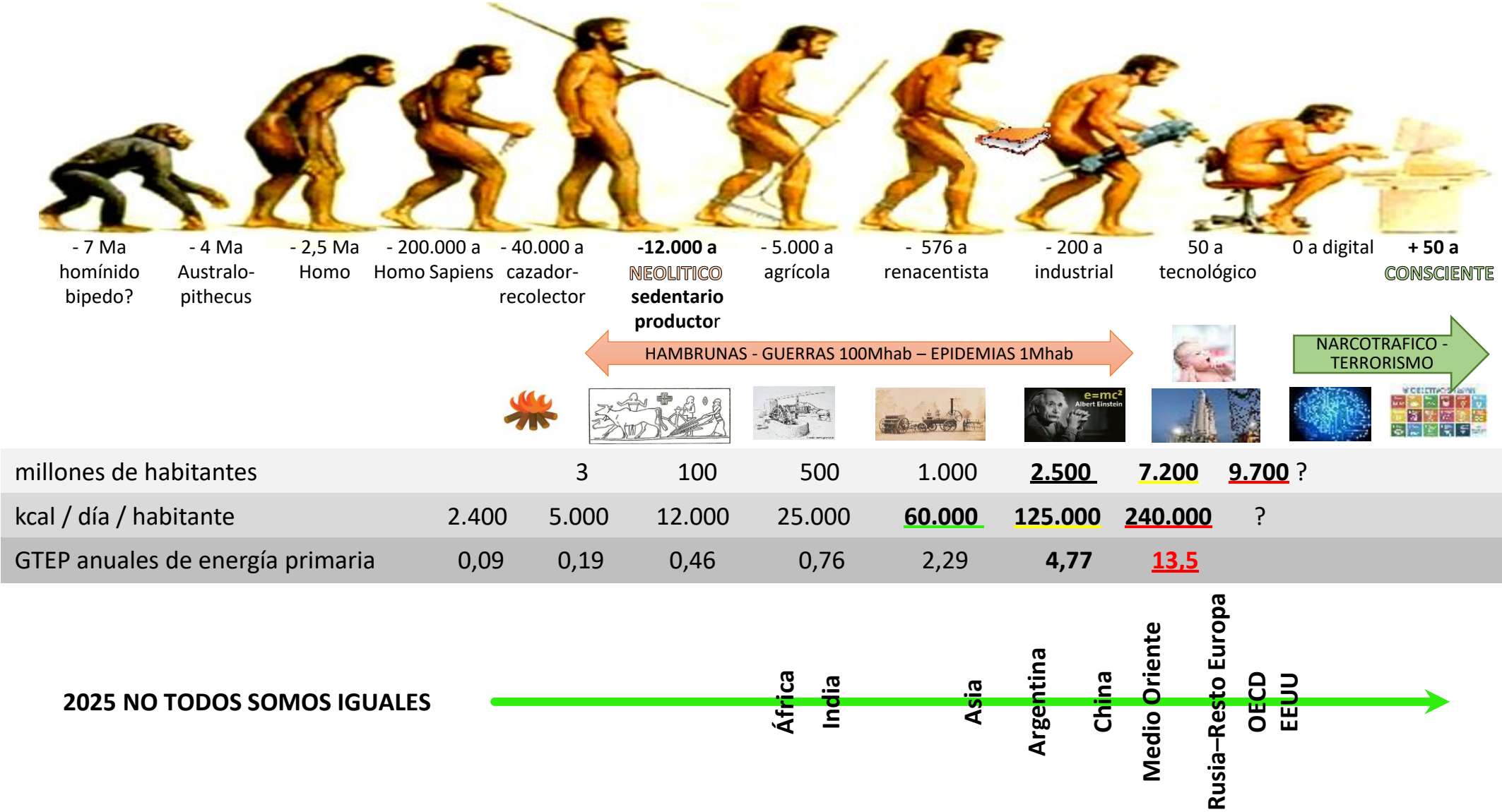
Tarifas



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



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 – frio - 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.

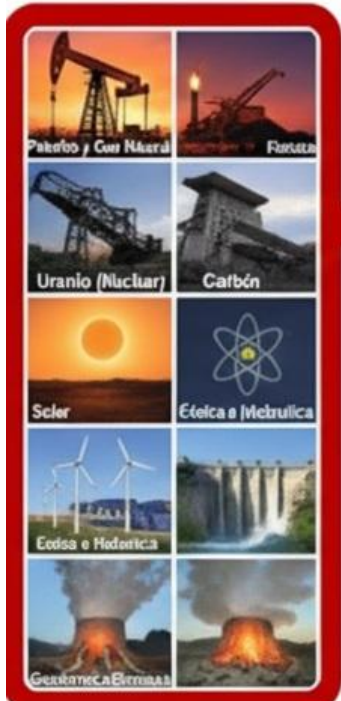
Renovable no es sinónimo de verde

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



EL RECURSO

ENERGÍAS SECUNDARIAS



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

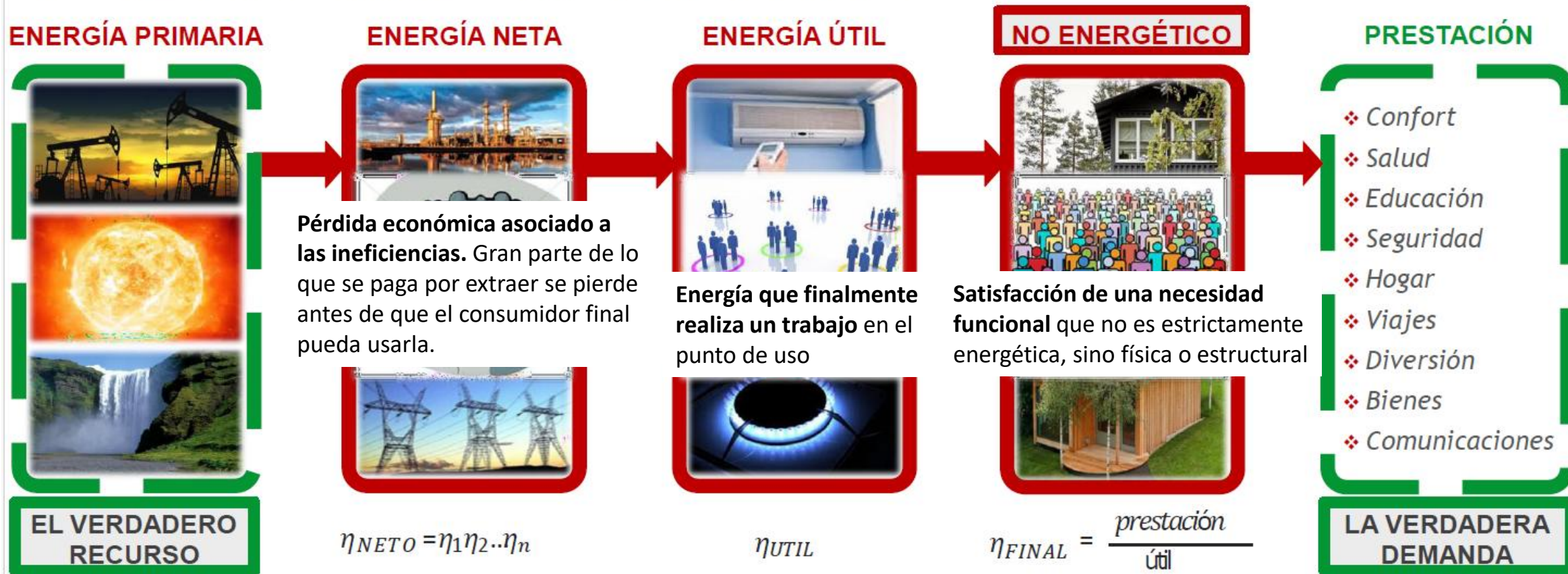
ENERGÍA ÚTIL



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:

Hidraulica (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 sobre costos 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
- ☺ Mínima 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 (≈200 bar)	15,3	≈6,4
GNL	Criogénico (≈−162°C)	15,3	≈7,5
H2 Gaseoso	Presión atmosférica	≈33,3	0,003
H2 Comprimido	Comprimido a ≈ 700 bar)	≈33,3	≈2,2
H2 Líquido	Criogénico ≈−253°C	≈33,3	≈2,4
Batería Li-ion	Alta densidad (LFP)	0,10 - 0,16	
Batería Li-ion	Alta densidad (NMC o NCA)	0,25 - 0,30	≈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 liquido 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 (H2 Líquido)	33,3 kWh/kg	1 kg de H2 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-Manganeso-Cobalto)	LFP (Litio Ferrofosfato)
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).

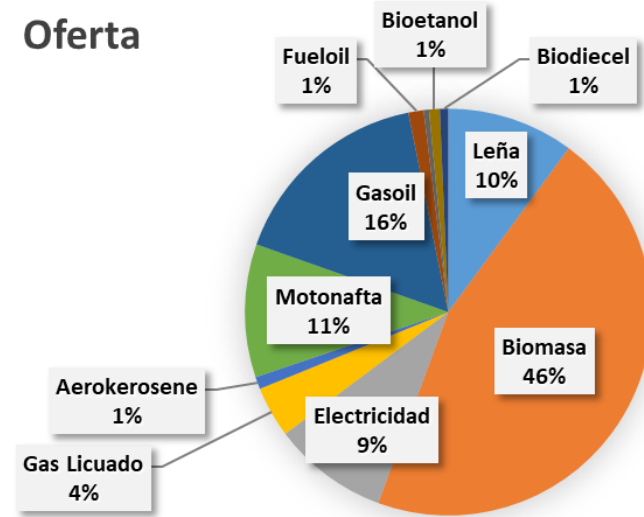
La energía en Misiones

El Balance Energético Provincial

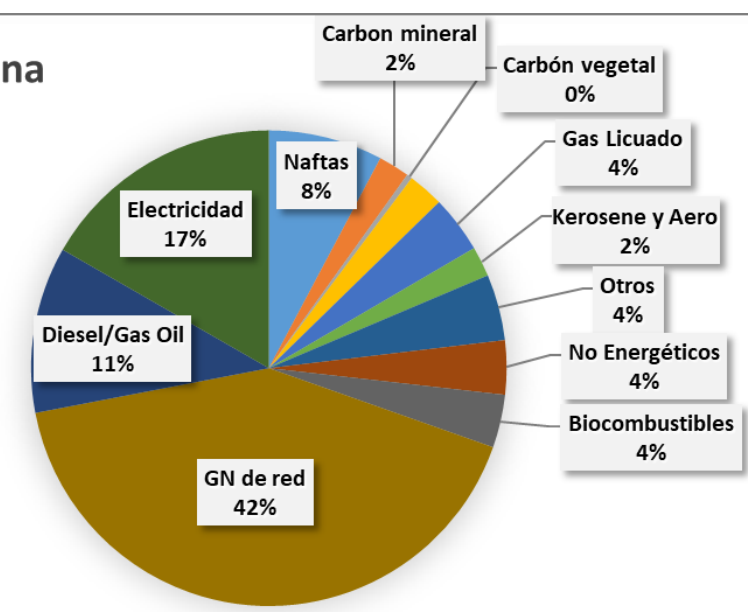
El Sistema Interconectado Provincial

La necesaria electrificación

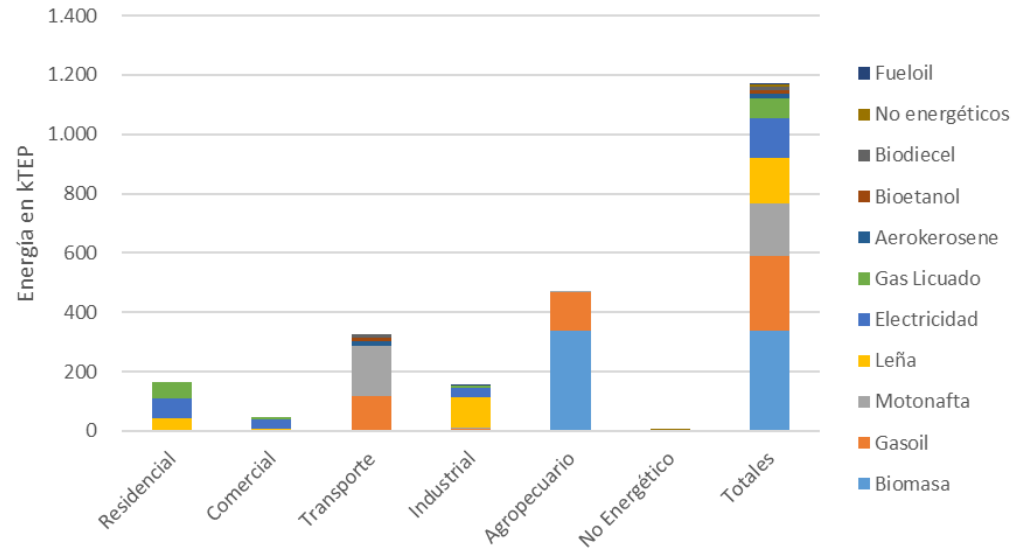
BEP Misiones Oferta



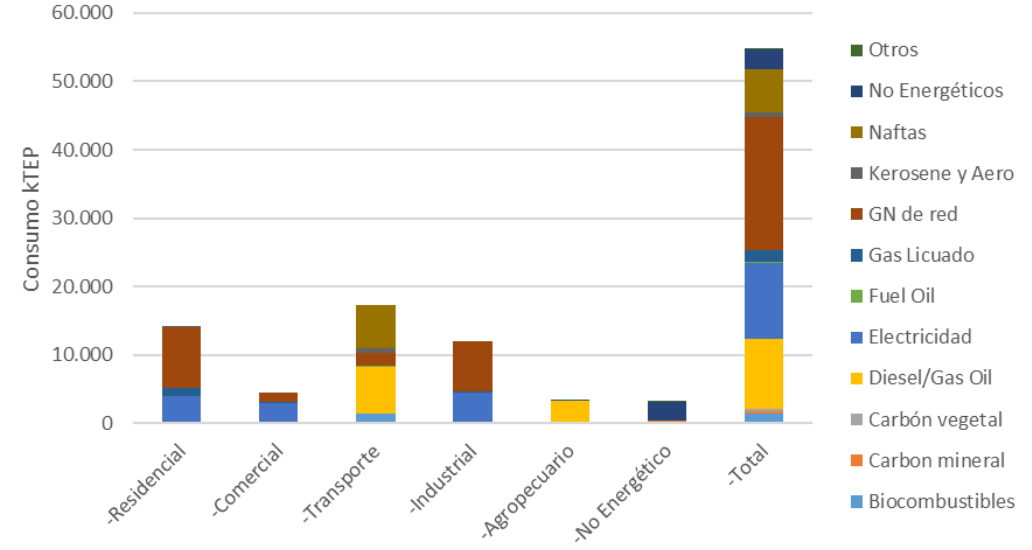
BEN Argentina Oferta



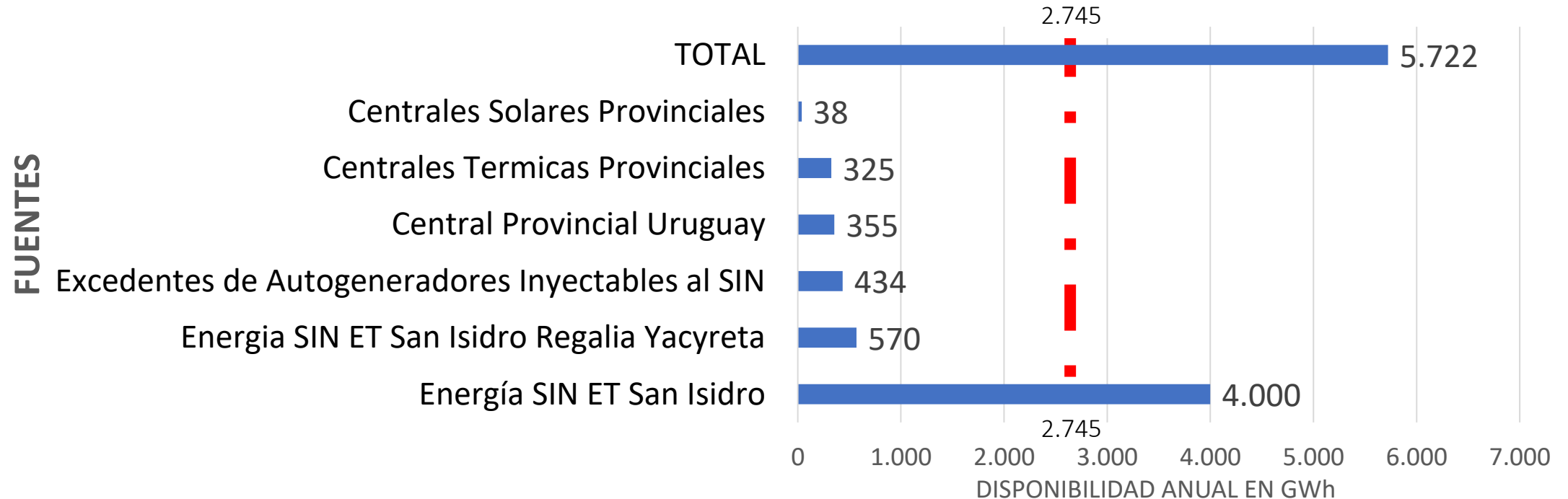
BEP Misiones - Consumo



BEN Argentina - Consumo



La disponibilidad de electricidad en Misiones



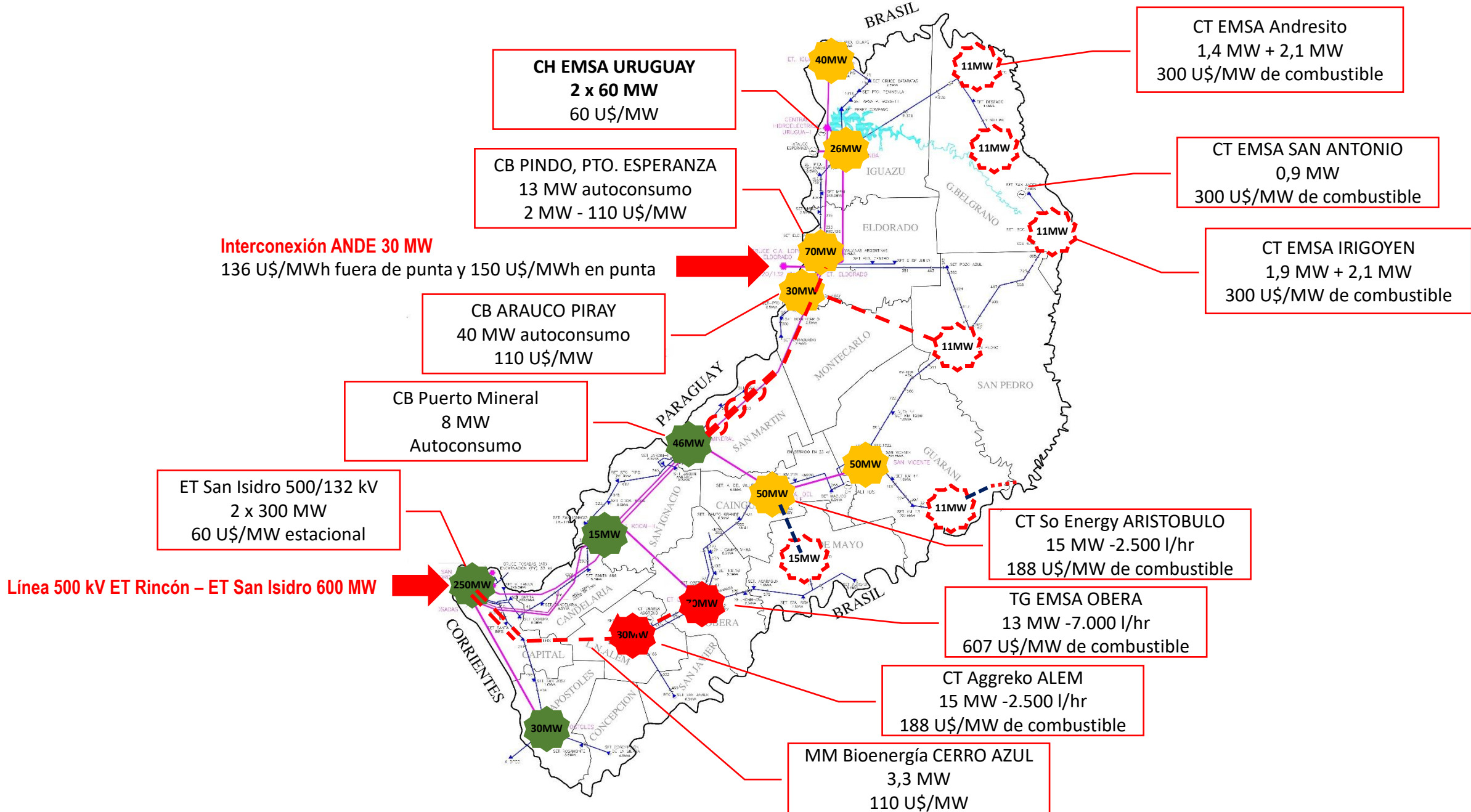
La demanda de electricidad año 2024 fue de 2.745 GWh (récord histórico)

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

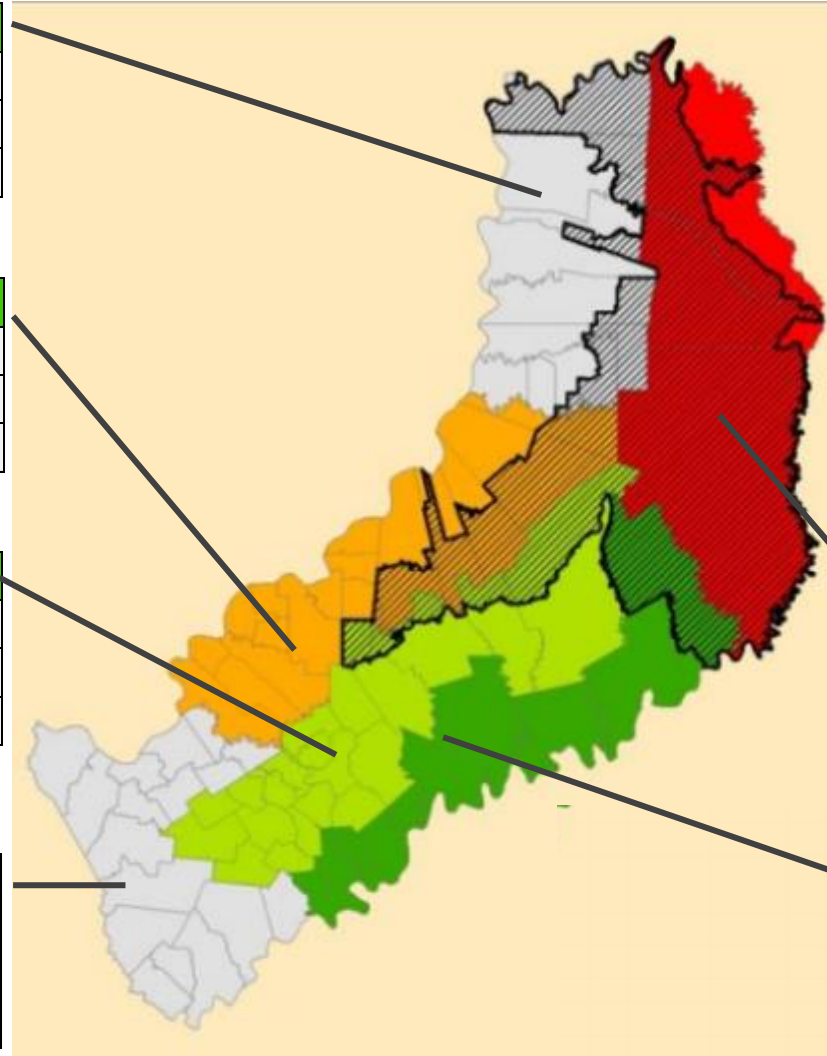
La potencia eléctrica para un IDH alto

#5 Noroste	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 **fuerza 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 lixiviar (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)

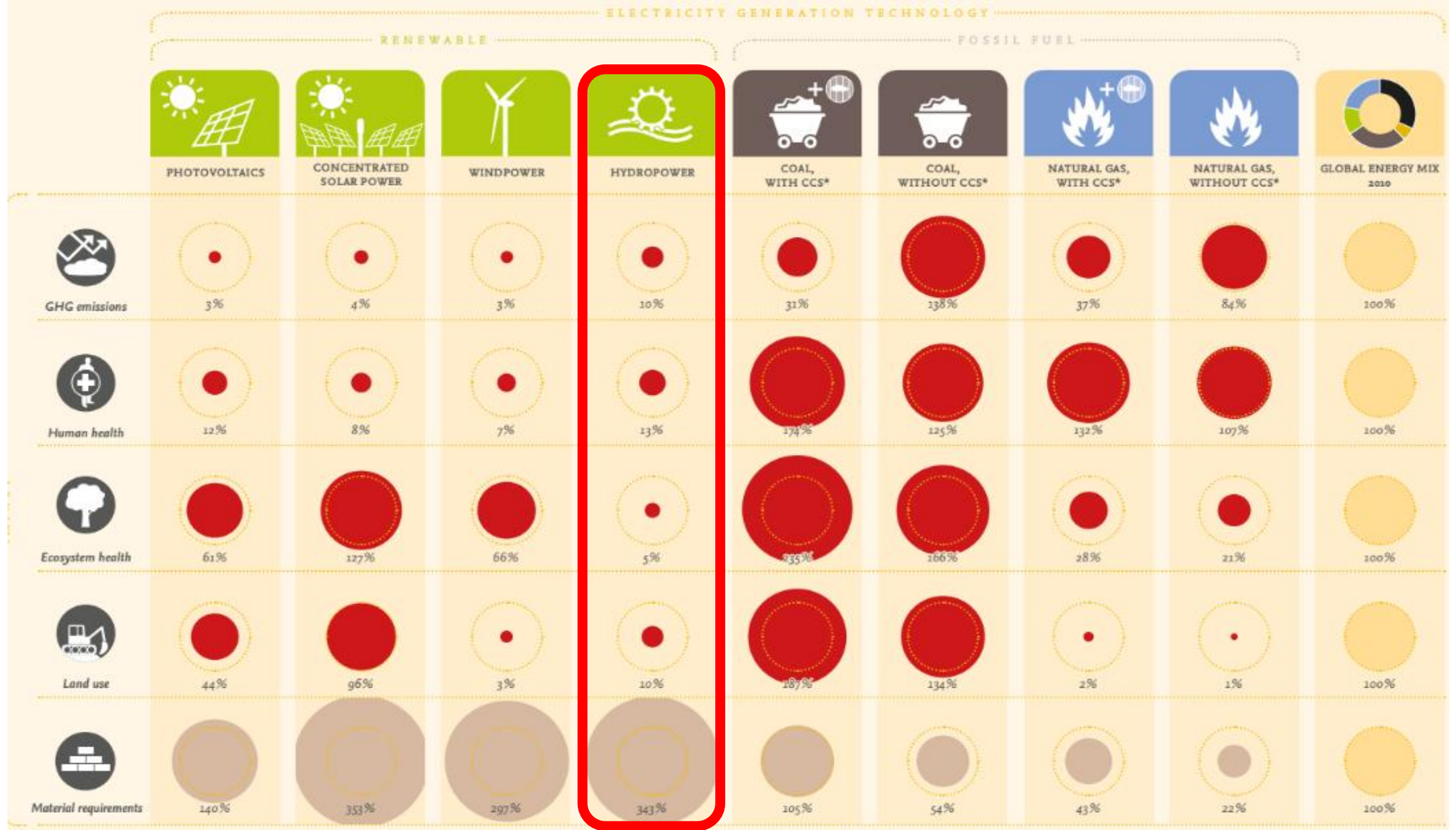
Vector	Fase de Fabricación	Fase de Operación	Impacto Global Clave
Combustibles Fósiles	Bajo	Muy Alto (GHG, NOx, SO2, PM)	Cambio Climático, Contaminación Local
Hidroeléctrica (Grandes Represas)	Bajo/Moderado (Construcción de infraestructura)	Bajo (GEI de operación, pero emisiones de metano por reservorio)	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

ELCV 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 Uranio	Media a Alta. Se utiliza mucha agua para el enfriamiento.	Residuos Radiactivos de alta actividad.

ElCV 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.



**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