



ESTADO PLURINACIONAL DE  
**BOLIVIA**

MINISTERIO DE  
HIDROCARBUROS Y ENERGÍAS

# REPORTE DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BOLIVIA



# Contenido

## REPORTE DE INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BOLIVIA

### Autor:

Ministerio de Hidrocarburos y Energías (MHE)  
Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas (VMEEA)  
Niras – IP Consult para el Programa de Energías Renovables (PEERR II)

### Edición, diseño y diagramación:

Comunicación Programa de Energías Renovables (PEERR)

Esta publicación es apoyada por la Cooperación Alemana al Desarrollo, a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y su Programa de Energías Renovables (PEERR II).

Se autoriza la reproducción total o parcial del presente documento, sin fines comerciales, citando adecuadamente la fuente.

La Paz, Bolivia, octubre 2022

<b>I.</b>	<b>Un reporte para la política energética nacional .....</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>Los indicadores de eficiencia energética, conceptos .....</b>	<b>7</b>
	2.1 Intensidad energética .....	8
	2.2 Rendimiento energético global en la cadena de electricidad .....	9
<b>III.</b>	<b>Evolución global de los indicadores .....</b>	<b>11</b>
	3.1 Intensidad energética de la oferta total.....	12
	3.2 Intensidad energética final .....	17
	3.3 Intensidad energética industrial.....	21
	3.4 Intensidad energética en la transformación .....	24
	3.4.1 Rendimiento energético global en la generación de electricidad .....	25
	3.4.2 Rendimiento Energético Global en la transmisión de electricidad .....	32
	3.4.3 Rendimiento energético global en la distribución de electricidad .....	32
<b>IV.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>35</b>



# índice de cuadros

Cuadro 1: Indicadores de intensidad energética .....	5
Cuadro 2: Indicadores de rendimiento energético global .....	5

# índice de figuras

Figura 1: Intensidad energética de oferta total primaria.....	13
Figura 2: Oferta total primaria y secundaria.....	15
Figura 3: Intensidad energética total, primaria y secundaria.....	16
Figura 4: Evolución del índice de intensidad energética.....	17
Figura 5: Evolución del UFE y PIB.....	19
Figura 6: Intensidad energética de uso final por componentes .....	20
Figura 7: Evolución de la intensidad energética de uso final.....	21
Figura 8: Evolución del UFE y PIB en el sector industrial.....	22
Figura 9: Intensidad energética final industrial por componentes .....	23
Figura 10: Comparación de la intensidad energética total y de uso final .....	24
Figura 11: Evolución de la Generación Bruta de electricidad.....	25
Figura 12: Evolución del rendimiento energético global en la generación de electricidad.....	26
Figura 13: Evolución del rendimiento energético global en las centrales a gas natural .....	27
Figura 14: Evolución del rendimiento energético global en las centrales a diésel .....	28
Figura 15: Variación estacional de la generación hidroeléctrica (2007-2019) .....	29
Figura 16: Evolución mensual del aprovechamiento de embalses.....	30
Figura 17: Evolución mensual del factor de planta en una central eólica.....	31
Figura 18: Variación mensual del rendimiento energético global en la transmisión de electricidad (2000 - 2020).....	32
Figura 19: Evolución del rendimiento energético global en la distribución de electricidad.....	33

# ABREVIACIONES

AETN	Autoridad de Fiscalización de Electricidad y Tecnología Nuclear	GHI	Irradiancia Horizontal Global	IE_F_EP	Intensidad Energética de Uso Final de Energía Primaria	IIE_F_EP	Índice de Intensidad Energética de Uso Final de Energía Primaria
AP	Alumbrado Público	GB_GN_CA&CC	Generación Bruta, Gas Natural, Ciclo Abierto y Ciclo Cerrado	IE_F_IND_ELE	Intensidad Energética de Uso Final de Gas Natural, Sector Industrial	IIE_F_Elec	Índice de Intensidad Energética de Uso Final de Electricidad
BBL	Barril de 42 galones	GIZ	Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit	IE_F_ELEC	Intensidad Energética de Uso Final de Electricidad	IIE_F_DP	Índice de Intensidad Energética de Uso Final de Derivados de Petróleo
BCES	Balanza Comercial de Energía Secundaria	GLP	Gas Licuado de Petróleo	IE_F_IND	Intensidad Energética de Consumo Final, Sector Industrial	IIE_F_T	Índice de Intensidad Energética de Uso Final Total
BEN	Balance Energético Nacional	GN	Gas Natural	IE_F_Ind_GN	Intensidad Energética de Uso Final de Gas Natural, Sector Industrial	IIE_P_NR	Índice de Intensidad Energética No Renovable
BEP	Barriles equivalentes de petróleo	GN_CA	Gas Natural, Ciclo Abierto	IE_F_Ind_T	Intensidad Energética de Uso Final Total, Sector Industrial	IIE_P_R	Índice de Intensidad Energética Primaria Renovable
BG	Bagazo	GN_CA&CC	Gas Natural, Ciclo Abierto y Ciclo Combinado	IE_F_T	Intensidad Energética de Uso Final Total	IIE_S_NR	Índice de Intensidad Energética Secundaria No Renovable
BIO	Biomasa	GN_CC	Gas Natural, Ciclo Combinado	IE_P	Intensidad Energética Primaria	IIE_PS_T	Índice de Intensidad Energética Primaria y Secundaria Total
Bs	Bolivianos	GRACOS	Grandes Consumidores	IE_P_N_Ren	Intensidad Energética Primaria No Renovable	INE	Instituto Nacional de Estadística
DIE	Diésel	GSL	Gasolina	IE_P_Ren	Intensidad Energética Primaria Renovable	kbep	Miles de barriles equivalentes de petróleo
EE	Eficiencia Energética	GWh	Gigavatio hora	IE_P_N_Ren	Intensidad Energética Secundaria No Renovable	kBs	Miles de Bolivianos
EFN	Eficiencia Neta del Sistema Energético	Ha	Hectárea	IE_S_N_Ren	Intensidad Energética Secundaria No Renovable	Kcal	Kilocaloría
EOL	Eólico / Eólica	HID	Hydroenergía	IE_T	Intensidad Energética Total	Kt	Kilotonelada
ESMAP	Programa de Asistencia para la Gestión del Sector de Energía (ESMAP, por sus siglas en inglés)	IDEE	Instituto de Economía Energética	IIE	Índice de Intensidad Energética	kWh	Kilovatio hora
F_ISE	Formularios de Información del Sector Eléctrico	IE	Intensidad Energética			Mbep	Millones de Barriles Equivalentes de Petróleo
FP_T	Factor de Planta Total	IE_F	Intensidad Energética de Consumo Final				
GB	Generación Bruta	IE_F_IND_BG	Intensidad Energética de Uso Final de Bagazo, Sector Industrial				
GB_GN_CA	Generación Bruta, Gas Natural, Ciclo Abierto	IE_F_DP	Intensidad Energética de Uso Final de Derivados de Petróleo				

MBS	Millones de Bolivianos	REG_GN_CA_CC	Rendimiento Energético Global, Gas Natural, Ciclo Abierto, Ciclo Combinado
MHE	Ministerio de Hidrocarburos y Energías	REG_G_Ren	Rendimiento Energético Global, Generación Renovable
MPC	Millones de pies cúbicos	REG_TdE	Rendimiento Energético Global, Transmisión de Electricidad
MWh	Megavatio hora	REG_D	Rendimiento Energético Global, Distribución de Electricidad
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía	SIN	Sistema Interconectado Nacional
OTE	Oferta Total Energética / de Energía	SOL	Solar
OTEP_N_Ren	Oferta Total de Energía Primaria de Fuente No Renovable	UFE	Uso Final Energético
OTEP_Ren	Oferta Total de Energía Primaria de Fuente Renovable	UFE_T	Uso Final Energético Total
PEERR	Programa de Energías Renovables	UFE_T_Ind	Uso Final Energético Total Industrial
PIB	Producto Interno Bruto	VMPDE	Viceministerio de Planificación y Desarrollo Energético
PIB_Ind	Producto Interno Bruto Industrial	VMEEA	Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas
REG	Rendimiento Energético Global	V_Res_Máximo	Volumen Residual de embalse respecto a su valor Máximo
REG_GN	Rendimiento Energético Global, Gas Natural	V_Res_Mínimo	Volumen Residual de embalse respecto a su valor Mínimo
REG_G_T	Rendimiento Energético Global, Generación Total		
REG_G_N_Ren	Rendimiento Energético Global, Generación No Renovable		
REG_GN_CA	Rendimiento Energético Global, Generación a Gas Natural, Ciclo Abierto		





**UN REPORTE PARA LA  
POLÍTICA ENERGÉTICA  
NACIONAL**

# I. Un reporte para la política energética nacional

La evolución de los indicadores de intensidad energética en Bolivia da cuenta de una mejora general de la productividad energética boliviana respecto a los datos registrados en 2013. También es evidente el inicio de un proceso de transición energética en el sistema eléctrico boliviano, en favor de la Eficiencia Energética (EE) y las fuentes de origen renovable.

Estos, entre otros, son los resultados que entrega este primer Reporte de Indicadores de Eficiencia Energética en Bolivia.

Se trata de información cuyo principal objetivo es contribuir al diseño de la política energética del país, en general, y de la política de eficiencia energética, en particular, información que proporciona elementos para la posterior evaluación y control de desempeño de esas políticas.

Adicionalmente, el Reporte se caracteriza porque sus resultados entregan información para emprender la planificación de la transición energética, y porque aportan elementos para reflexionar sobre la transición económica en el país.

El Reporte está basado en el estudio de la evolución de dos indicadores de sustentabilidad relativos a la eficiencia energética –**Intensidad Energética (IE) y Rendimiento Energético Global (REG)**– que fueron seleccionados y concertados por actores relevantes del sector energético boliviano en eventos ocurridos entre los años 2018 y 2020.

**El estudio inició** entre abril y agosto de 2018, con la sistematización de los indicadores de eficiencia energética en países y en instituciones académicas de América Latina y de Europa; continuó en diciembre de ese mismo año (2018) con un taller para la selección de indicadores; y prosiguió entre febrero y mayo de 2019 con el estudio de identificación y evaluación de la información necesaria para calcular los indicadores priorizados en el taller de diciembre de 2018.

Finalmente, antes de la presentación de este Reporte, en diciembre de 2020, se llevó a cabo un taller en el que se presentaron los resultados del estudio de identificación y evaluación de la información requerida para el cálculo de los indicadores, y se elaboró una lista priorizada de estos indicadores.

En los cuadros 1 y 2 se presentan los indicadores priorizados que permiten monitorizar la eficiencia energética en la matriz energética boliviana.

**Cuadro 1: Indicadores de intensidad energética**

Indicador	Abreviación	Forma de cálculo
Intensidad Energética Total	IE_T	Es la relación entre la oferta energética total y el PIB. El indicador es derivado de los indicadores de intensidad energética de oferta primaria y secundaria.
Intensidad Energética Primaria, componente No Renovable	IE_P_N_Ren	Es la relación entre la oferta total primaria de fuente no renovable, petróleo y el PIB.
Intensidad Energética Primaria, componente Renovable	IE_P_Ren	Es la relación entre la oferta total primaria de fuente renovable y el PIB.
Intensidad Energética Secundaria, componente No Renovable	IE_S_N_Ren	Es la relación entre la oferta total secundaria de fuente no renovable y el PIB.
Intensidad Energética de Consumo Final	IE_F	Es la relación entre el Uso Final Energético agregado y el PIB.
Intensidad Energética de Consumo Final, Sector Industrial	IE_F_Ind	Es la relación entre el uso final energético en el sector industrial y el producto del sector.

**Cuadro 2: Indicadores de rendimiento energético global**

Indicador	Abreviación	Forma de cálculo
Rendimiento Energético Global, Generación Total	REG_G_T	Es la relación entre la generación bruta total y la sumatoria de la energía contenida en los combustibles, de fuente no renovable, y el potencial energético de fuente renovable.
Rendimiento Energético Global, Generación No Renovable	REG_G_N_Ren	Es la relación entre la energía eléctrica medida en bornes de generador y la energía contenida en los combustibles, de fuente no renovable, utilizados en la generación.
Rendimiento Energético Global, Generación Renovable	REG_G_Ren	Es la relación entre la energía eléctrica medida en bornes de generador y el potencial contenido en el flujo energético (renovable) al ingreso de los equipos de generación.
Rendimiento Energético Global, Transmisión de Electricidad	REG_TdE	Es la relación entre la cantidad de energía eléctrica medida en los nodos de retiro y la inyectada en los nodos del mercado mayorista.
Rendimiento Energético Global, Distribución de Electricidad	REG_D	Es la relación entre la cantidad de energía eléctrica medida en los establecimientos de los usuarios finales y aquella retirada en los nodos de distribución.



# INDICADORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, CONCEPTOS

## II. Los indicadores de eficiencia energética, conceptos

### 2.1 Intensidad energética

La Intensidad energética es un indicador que permite cuantificar, en forma agregada, la relación entre el flujo de energía en una etapa de la cadena energética y la capacidad de producción de la economía; se mide en unidades de energía y unidades monetarias del Producto Interno Bruto (PIB).<sup>1</sup> En este marco, el indicador expresa la habilidad de un sistema económico-energético para transformar la energía en riqueza.<sup>2</sup>

Para los fines de este Reporte, la intensidad energética agregada se calculará en tres niveles:

- i) **En el nivel de oferta total:** Se trata de la relación entre la energía total ofertada, primaria y secundaria, para el consumo interno –conocida como oferta total que se destina a los sistemas de transformación y al consumo directo de energéticos– y el producto de la economía (PIB).
- ii) **En el nivel de consumo final:** Se trata de la relación entre el consumo final energético de los sectores demandantes y el PIB.
- iii) **En el nivel sectorial:** se estudiará la relación entre el uso final energético en el sector industrial y el PIB generado en la industria nacional.

La diferencia entre los dos primeros indicadores (oferta total y consumo final) radica en que el segundo no incluye las pérdidas totales y el consumo propio de los sistemas de transformación de la cadena energética, es decir, de las plantas de tratamiento de gas natural, centrales de generación de electricidad y refinerías.

1 Organización Latinoamericana de Energía (2017), *Manual de Estadística Energética*. OLADE; P290. Quito, Ecuador.

2 Arze, C.; Guzmán, J.C.; Madrid, E.; Peres-Cajías, J.A. (2014) *Reporte Anual de Industrias Extractivas*. Centro de Estudios para el Desarrollo Laboral y Agrario - CEDLA. La Paz, Bolivia.

### 2.2 Rendimiento energético global en la cadena de electricidad

El rendimiento energético global es la relación entre la energía a la salida de un sistema, como producto, y la energía que ingresa a ese sistema, como insumo; ambos niveles de energía se miden en unidades energéticas.

Este concepto proviene de dos definiciones utilizadas en instituciones de la región:

1. La utilizada por el Instituto de Economía Energética (IDEE)<sup>3</sup>, para el cálculo de la Eficiencia Neta del Sistema energético (EFN), que define el rendimiento energético global (REG) como la eficiencia del abastecimiento energético (considerando todas las diferentes formas de energía primaria y secundaria). El indicador da cuenta del rendimiento energético global de todo el sistema de transformación de un país.
2. La definición utilizada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) para el cálculo de la eficiencia en los procesos de transformación. El REG, en este caso, se define como la relación entre el consumo final de energía y la oferta total de energía. La diferencia con la anterior definición es muy sutil y está relacionada con el consumo propio de los sistemas de transformación.

Derivado de lo anterior, el Reporte calcula los valores del rendimiento energético global en las etapas de generación, transmisión y distribución de electricidad.

El REG en la generación eléctrica se mide como la relación entre la energía eléctrica obtenida a la salida de las centrales de generación, respecto a la cantidad de energía primaria introducida en esas centrales  $[kWh_{Salida}/kWh_{Entrada}]$ .

En forma similar, el rendimiento energético en las etapas de transporte y distribución se mide como la relación entre la energía eléctrica medida en el nodo de entrega del suministro eléctrico y aquella medida en el nodo de inyección de electricidad  $[kWh_{Salida}/kWh_{Entrada}]$ .

La ventaja de este indicador radica en que, al presentarse en una serie temporal, permite evaluar la evolución de la eficiencia energética de los diferentes tipos de centros de transformación de un país. Asumiendo que la información de todos sus componentes es confiable y proviene de mediciones, la evaluación del indicador le permitirá al gestor de política pública tener control sobre el estado de la tecnología y de la eficacia de la gestión (operación y mantenimiento) en todos los niveles de la cadena.

3 El Instituto de Economía Energética, hoy Departamento de Energía de la Fundación Bariloche, Argentina, desarrolla actividades de investigación básica y aplicada, capacitación, difusión y asistencia técnica en el campo de la economía, planificación y política energética y su vinculación con las dimensiones social y ambiental.



# EVOLUCIÓN GLOBAL DE LOS INDICADORES

### III. Evolución global de los indicadores

#### 3.1 Intensidad energética de la oferta total

La información del sistema energético boliviano reconoce, como componentes de la oferta total<sup>4</sup> primaria, a: i) petróleo y condensado; ii) gas natural asociado; iii) hidroenergía; iv) biomasa; v) potencial solar; y vi) potencial eólico.

La Oferta Total de Energía Primaria de Fuente No Renovable (OTEP\_N\_Ren) está constituida por la oferta total de petróleo, condensado y gas natural. En el caso del petróleo y condensado, la información analizada corresponde a las fracciones de petróleo e hidrocarburos líquidos en campos de petróleo y gas natural. El otro componente de la oferta de fuente no renovable, el gas natural asociado, está compuesto por una mezcla de gases hidrocarburos, dióxido de carbono, vapor de agua, y otros, en campos de gas natural.

Por su parte, la Oferta Total de Energía Primaria de Fuente Renovable (OTEP\_Ren) está constituida por el potencial hidroenergético, el potencial solar, el potencial eólico y la producción de biomasa destinada al uso energético.

Una buena parte de la OTEP\_Ren proviene, según las definiciones metodológicas del Balance Energético Nacional (BEN), de un cálculo realizado a partir de la electricidad generada por las fuentes renovables. En dicho cálculo involucra un rendimiento de transformación de: i) 100% para la generación hidroeléctrica, solar y eólica; y ii) 25% para la generación de electricidad con biomasa.

Estas definiciones que constituyen en los hechos transformaciones energéticas en un estado de “eficiencia congelada”, se encuentran armonizadas para la región en el Manual de Estadística Energética de la OLADE. Un argumento de gran peso para sustentarlas, es la ausencia de información, en general, y mediciones para el cálculo de la oferta, en particular.

No obstante, la oferta primaria de fuente renovable en Bolivia se encuentra en el orden del 10% de la oferta total primaria, se ha considerado, para los fines de este Reporte, realizar una primera aproximación al cálculo de la oferta primaria renovable.

<sup>4</sup> El concepto de oferta total se encuentra expuesto en el manual de estadística energética de la OLADE. Se refiere a la cantidad, de cada fuente, que está disponible para el uso interno, ya sea para insumo a transformación, para consumo propio del sector energético o para consumo final (OLADE, 2017). La oferta energética cubre también las pérdidas que se dan en las diferentes etapas de la cadena energética.

Bajo estas definiciones, la oferta total de energía primaria en Bolivia habría alcanzado en 2018 a 57,905 kbep, y tuvo un crecimiento de 4.95%/año.

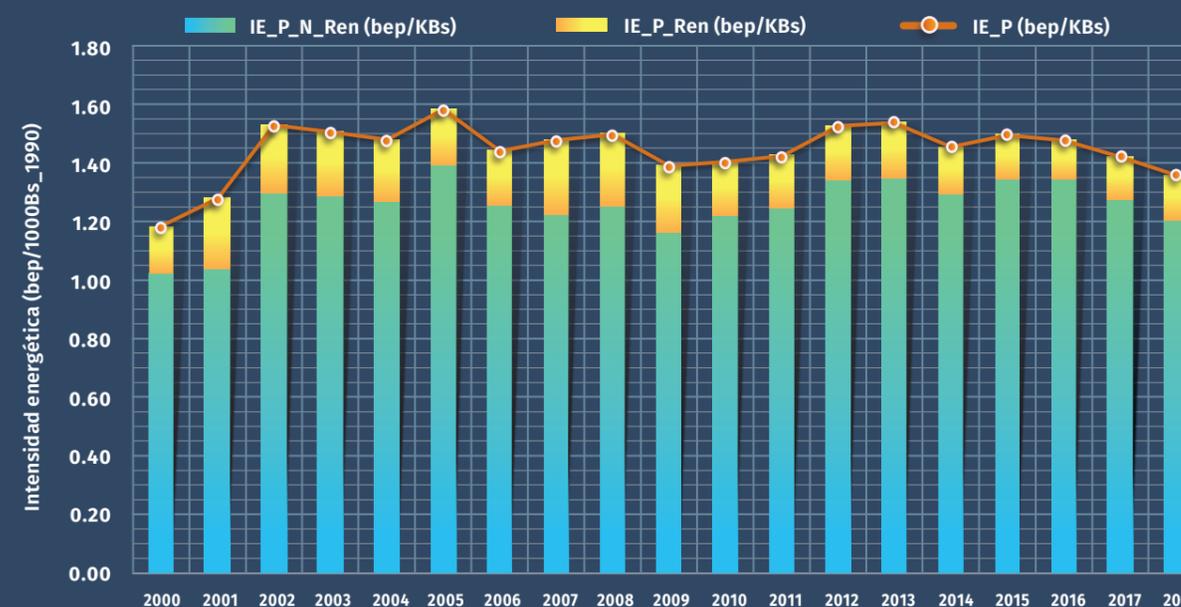
Alrededor del 88% de esta oferta (51,005 kbep) corresponde a la oferta de energía primaria de fuente no renovable y, el 12% corresponde a la oferta primaria de origen renovable. El crecimiento promedio de la oferta total no renovable (petróleo y gas natural) en el período 2000-2018 habría alcanzado a 5.43 %/año.

Con la información expuesta en las líneas precedentes se puede aproximar el valor de las siguientes magnitudes de intensidad energética primaria:

- a) La *intensidad energética primaria de fuente no renovable* alcanzó, en 2018, a **1.21 bep/10<sup>3</sup>Bs.**, el cual experimentó un crecimiento promedio anual en el período de 1.28%/año, y tuvo valores máximos, de 1.39 bep/10<sup>3</sup> Bs. en 2005 y de 1.35 bep/10<sup>3</sup> Bs. entre 2013 y 2016.
- b) La *intensidad energética primaria de fuente renovable* habría alcanzado en 2018 a **0.16 bep/10<sup>3</sup> Bs.**, y tuvo un decremento promedio anual en el período de -1.71%/año, y valores máximos, de 0.25 bep/10<sup>3</sup> Bs, entre 2007 y 2008.
- c) La composición de ambas arroja un valor de *intensidad energética primaria total*, en 2018, de **1.37 bep/10<sup>3</sup> Bs.**, un crecimiento promedio anual en el período de 0.82%/año, y un valor máximo de 1.58 bep/10<sup>3</sup> Bs. en 2005.

La Figura 1, a continuación, muestra el resultado expuesto en los párrafos anteriores.

Figura 1: Intensidad energética de oferta total primaria



Fuente: Elaboración propia.

Debe observarse, sin embargo, que la definición teórica de la intensidad energética de oferta total primaria supone un estado ideal de autarquía energética en el que el cien por cien de la oferta es provisto por la producción nacional. Es claro que esta definición no es suficiente para los sistemas energéticos de autarquía menor a 1, es decir, aquellos que deben cubrir parte de su oferta total con importaciones de medios portadores de energía.

Si bien Bolivia tiene una de las más elevadas autarquías energéticas de la región, es imprescindible incorporar en el cálculo de la intensidad energética de oferta total aquella proveniente de la Balanza Comercial de Energía Secundaria (BCES).

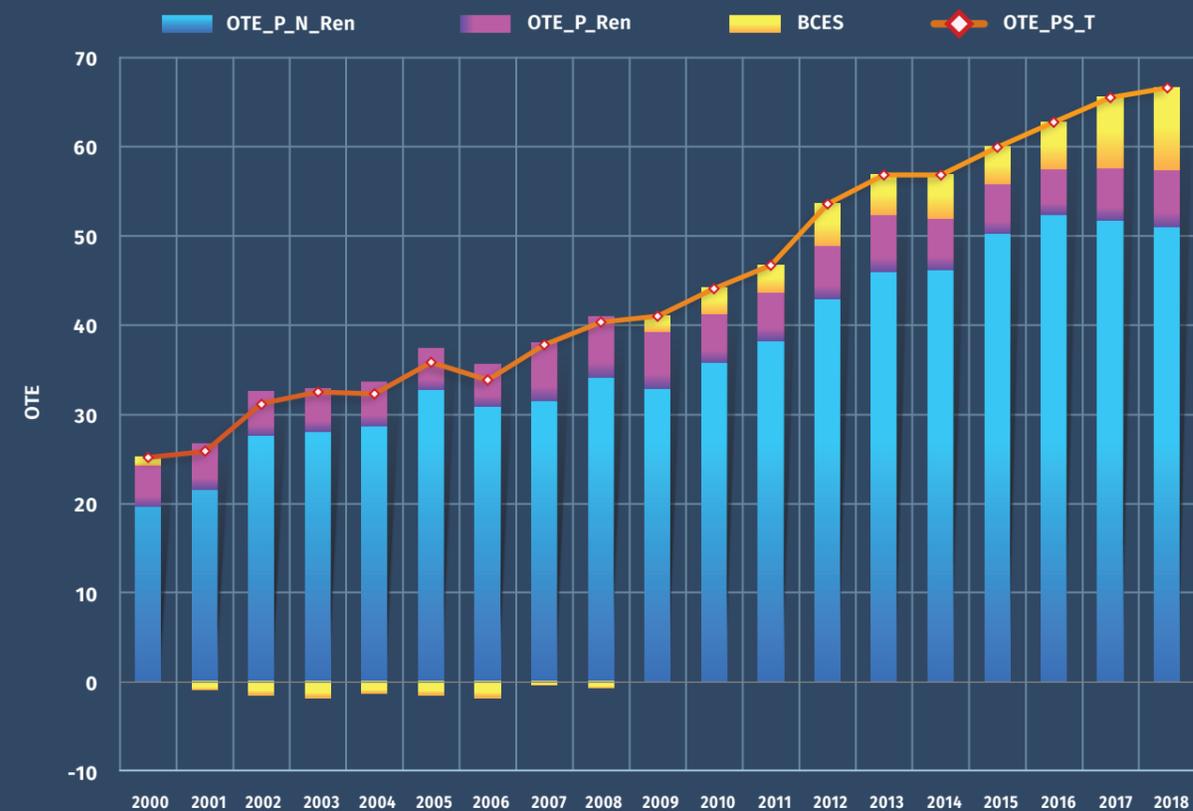
En el componente de oferta de energía secundaria se consideran la importación y exportación de fuentes de energía –la denominada Balanza Comercial de Energéticos–, refiriéndose con ello a la cantidad de fuentes energéticas secundarias que ingresan al país para formar parte de la oferta total de energía, y a la cantidad de fuentes energéticas secundarias que salen de los límites territoriales del país, y no estarán destinados a satisfacer la demanda interna.

En ese marco, se encuentra que las importaciones de energía secundaria alcanzaron, en 2018, el orden de 10,200 kbep y tuvieron un crecimiento promedio en el período de 9.13%/año. Por su parte, las exportaciones de energía secundaria se encuentran en el orden de 2,000 kbep, y su tasa de crecimiento fue menor al 1%/año en el período analizado. El balance de energía muestra que la oferta actual de energía secundaria no renovable proveniente de la balanza comercial alcanzó el orden de 9,100 kbep, y experimentó un crecimiento cerca del 14%/año en el período de análisis.

El balance de energía secundaria, descrito en las líneas precedentes, tiene un grado de afectación importante en la oferta total de energía de la matriz boliviana. Es así como la oferta total de energía, primaria y secundaria alcanzó el orden de 67,022 kbep, y tuvo un crecimiento del 5.60%/año en el período 2000-2018. Esta nueva composición de la oferta total muestra que el 90% de la oferta total, primaria y secundaria, está compuesta por fuentes de origen fósil.

La Figura 2 muestra la composición de la oferta total boliviana, e incluye las importaciones de productos derivados de petróleo que ingresan en la cadena de transformación energética del país. Se podrá observar que la Balanza Comercial de Energía Secundaria de fuente no renovable es mayor a la oferta primaria de fuente renovable.

Figura 2: Oferta total primaria y secundaria



Fuente: Elaboración propia.

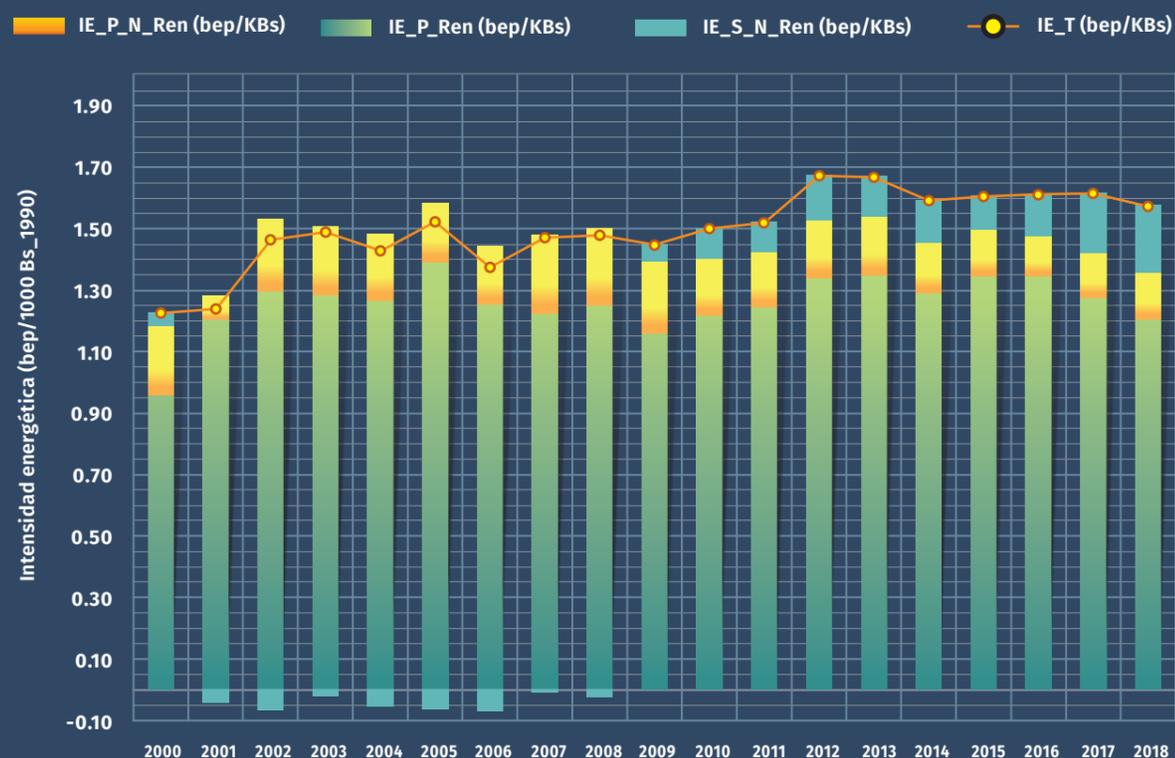
La incorporación de la balanza comercial en el cálculo del indicador de intensidad energética da como resultado el valor correspondiente al de oferta total, primaria y secundaria. Dicho indicador tuvo, en 2018, el valor de **1.58 bep/10<sup>3</sup> Bs.**, y experimentó un crecimiento de 1.44%/año en el período de análisis, y alcanzó un valor máximo de 1.67 bep/10<sup>3</sup> Bs. entre 2012 y 2013. El valor de 2018 tiene tres componentes:

- ▶ La intensidad energética primaria no renovable es de 1.21 bep/10<sup>3</sup> Bs. y tuvo un crecimiento de 1.28%/año.
- ▶ La intensidad energética secundaria no renovable es de 0.22 bep/10<sup>3</sup> Bs. y experimentó un crecimiento de 9.41%/año.
- ▶ La intensidad energética primaria renovable de 0.16 bep/10<sup>3</sup> Bs. y decreció a una tasa de 1.71%/año.

La Figura 3 muestra la evolución de la intensidad energética por componentes.



Figura 3: Intensidad energética total, primaria y secundaria

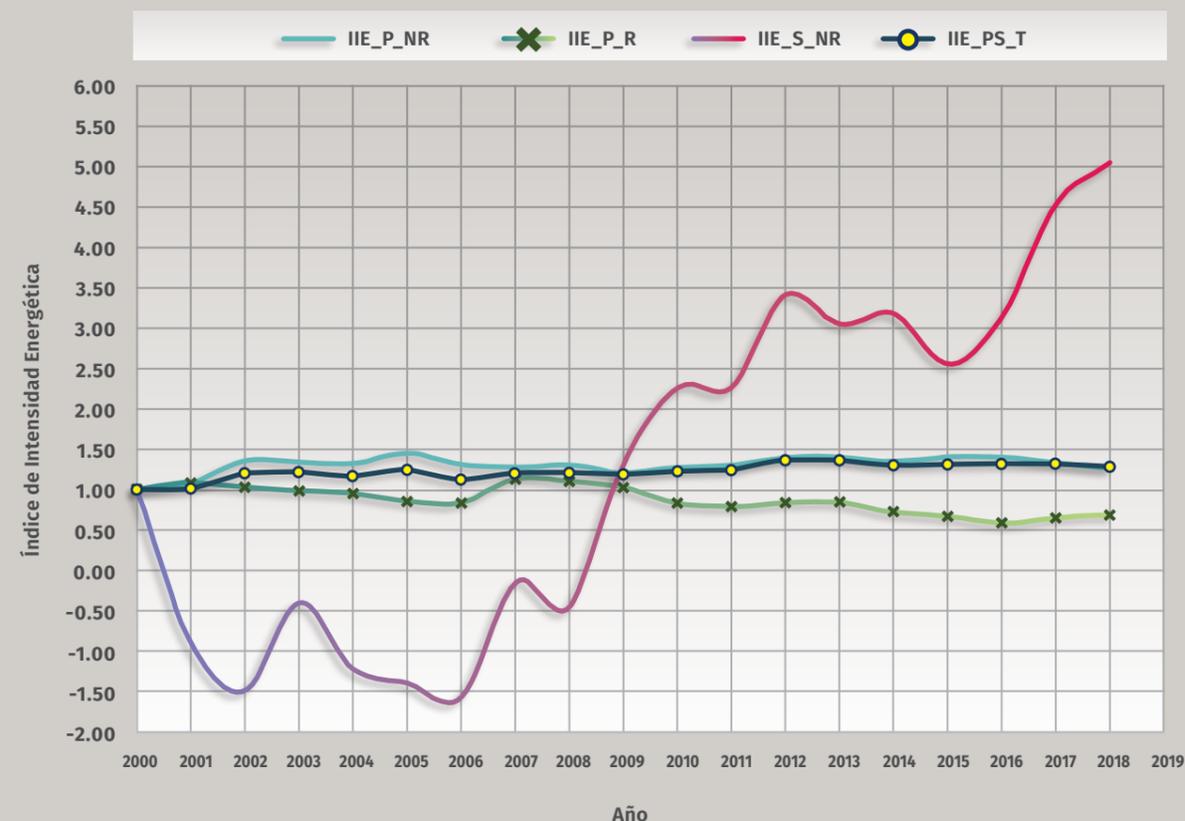


Fuente: Elaboración propia.

Una última forma de exponer la evolución de la intensidad energética es a través del Índice de Intensidad Energética (IIE), que asigna el valor de 1 al valor del inicio de la serie en análisis.

La Figura 4, a continuación, muestra la evolución de los índices de intensidad energética primaria y secundaria no renovable, primaria renovable y de oferta total. La misma muestra que la intensidad de uso de recursos energéticos primarios y secundarios del sistema económico energético boliviano se habría incrementado en el período analizado (2000-2018) en un 28%, afectada por el incremento de la oferta primaria no renovable (26%) y, principalmente, por el incremento de la balanza comercial de productos terminados de hidrocarburos (50.5%).

Figura 4: Evolución del índice de intensidad energética



Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Intensidad energética final

El uso final energético corresponde a toda la energía que se entrega a los usuarios finales para su aprovechamiento como energía útil<sup>5</sup>. Se lo define también como energía neta entregada y medida en las acometidas de los usuarios finales, clasificados, de acuerdo con la división clásica de los sectores económicos y a la clasificación industrial internacional uniforme, a la cual se añade el sector residencial.

El sistema energético boliviano organiza a los usuarios finales en seis sectores: i) Sector transporte; ii) Sector industrial; iii) Sector residencial; iv) Sector comercial, servicios y público; v) Sector agropecuario, pesca y minería; y vi) Sector construcción y otros.

Antes de estudiar la evolución del UFE, es necesario mencionar algunas características de la información analizada porque establecen límites al presente Reporte.

La información sobre el UFE –tanto en el nivel agregado como en el nivel sectorial– existe, y es consistente en el país, sólo en el caso del gas natural por redes y en el de la electricidad, es decir, en los sistemas en los que la energía neta entregada se mide en las acometidas de los usuarios. No es el caso de los derivados de petróleo ni del uso final energético de biomasa.

<sup>5</sup> Manual de Estadística Energética (OLADE. 2017: 56).

En el caso de los derivados de petróleo, la información oficial sobre comercialización de energéticos sólo existe a nivel de distribución mayorista y, en ese marco, la información sobre consumo sectorial proviene de la distribución porcentual de la energía distribuida en este nivel.

La referida distribución porcentual por sectores constituye un tipo de “eficiencia congelada inter-sectorial” que engloba al consumo final de energía y a los consumos y pérdidas ocurridas en la logística de distribución y almacenamiento. Por esta razón, en este Reporte no es posible calcular el indicador de intensidad energética final a nivel sectorial.

Esta forma de organización de la información, sin embargo, sí permite calcular el indicador a nivel agregado, pero impide el cálculo de los indicadores a nivel sectorial que incluyan derivados de petróleo como principal energético (es el caso del sector transporte y del sector agropecuario, pesca y minería).

En el caso del UFE de biomasa, este Reporte identifica cuatro fuentes energéticas: la leña, el estiércol, el bagazo de caña y la cascarilla de almendra.

En cuanto a la leña y el estiércol que se utilizan con fines energéticos en hogares e industrias rurales, la información ha sido tomada del BEN para fines de cálculo del indicador agregado.

Respecto del bagazo de caña, no existe información histórica que provenga de mediciones. La consignada en este estudio fue obtenida por un balance anual –equilibrado por aproximaciones sucesivas– entre la oferta total de energía primaria del bagazo que ingresa en calderas, la producción de azúcar, el uso propio de electricidad, y la inyección de electricidad en el SIN.

En el caso de la cascarilla de almendra, su valor de uso energético se calculó a partir de la cantidad de exportada de almendra por departamentos reportada anualmente por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

En general, para el cálculo del UFE de biomasa, se utilizó la información proveniente de balances de materia realizados en diagnósticos energéticos realizados entre 1998 y 2018<sup>6</sup>.

Con la inclusión del bagazo y la cáscara de castaña, la información disponible al nivel del uso final energético agregado alcanzaría al orden de 85% del uso final energético total. Medido bajo estas condiciones, el indicador de intensidad energética final es considerado robusto y es parte de los resultados del estudio.

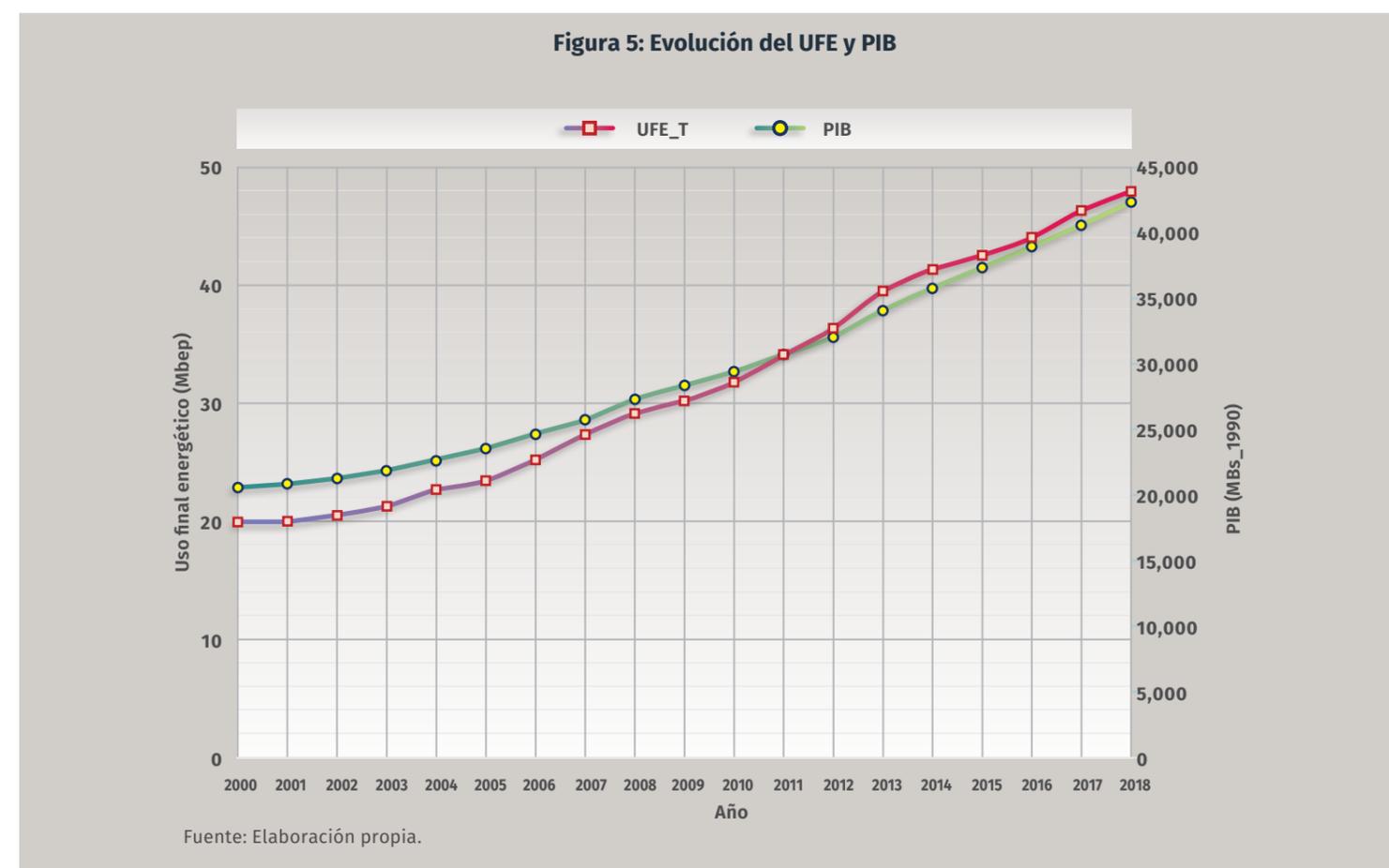
Bajo estas definiciones, el uso final energético en Bolivia alcanzó, en 2018, a 47,923 kbep. Su evolución tiene las siguientes características:

- ▶ Una tasa de crecimiento en el período de análisis del 5%/año.
- ▶ El 89.1% del UFE estuvo destinado a usos finales térmicos a partir de gas natural y biomasa (4.59%/año) y derivados de petróleo como GLP, gasolinas, diésel y otros (5.24%/año).
- ▶ El 10.9% estuvo destinado a usos finales eléctricos (4.92%/año).

El dominio de los usos térmicos en la matriz de uso final involucra, por definición, a procesos de combustión y la emisión de CO<sub>2</sub>.

<sup>6</sup> Fuentes: 1) Programa Nacional de Biomasa, ESMAP-Banco Mundial; 2) Programa de Producción Más Limpia en Industrias Rurales, CNI-DANIDA; y 3) Programa de Manejo Sustentable de Recursos Naturales y Cambio Climático, CPTS-ERD.

La Figura 5 expone la evolución del uso final energético y el Producto Interno Bruto. De él se puede extraer, de manera relevante, que el crecimiento del uso final de energía es mayor al crecimiento de la producción, hecho que muestra un incremento de la intensidad energética de uso final en el país.



Con la información expuesta en la Figura 5, se encuentra que la intensidad energética final alcanzó, en 2018, el valor de **1.13 bep/10<sup>3</sup> Bs.**, tuvo un valor máximo de 1.16 bep/10<sup>3</sup> Bs, entre 2013 y 2014, y experimentó en el período un crecimiento de 0.86%/año.

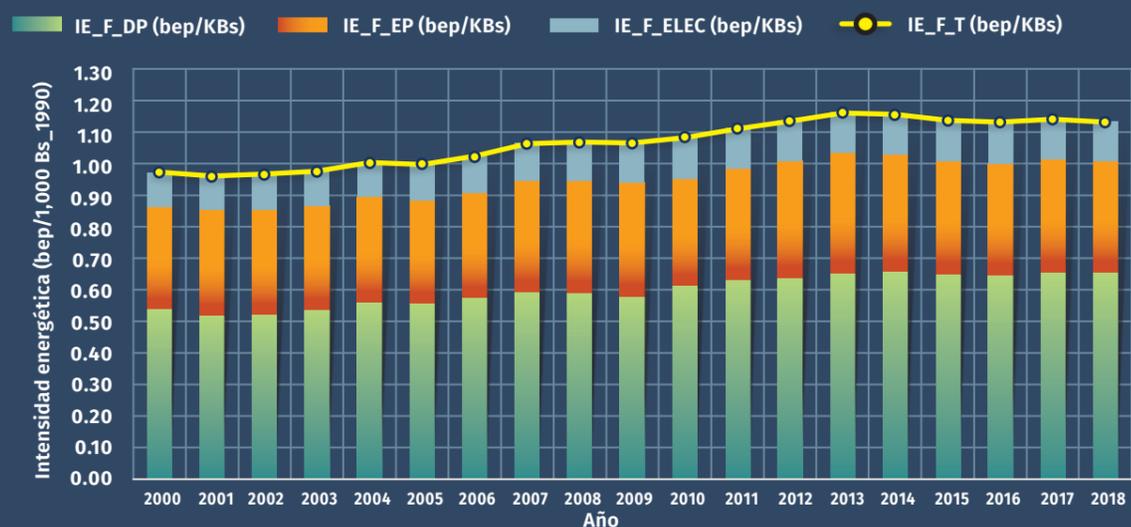
El valor de intensidad energética final, en 2018, tiene tres componentes:

- ▶ La intensidad energética debido al uso final de derivados de petróleo es de 0.66 bep/10<sup>3</sup>Bs, y tuvo un crecimiento de 1.10%/año.
- ▶ La intensidad energética por el uso final de energía primaria (gas natural y biomasa) es de 0.35 bep/10<sup>3</sup> Bs., y tuvo un crecimiento de 0.47%/año.
- ▶ La intensidad energética por uso final de electricidad es de 0.12 bep/10<sup>3</sup> Bs., y creció a una tasa de 0.78%/año.

La Figura 6 muestra la evolución de la intensidad energética de uso final. En ella se puede apreciar, de manera relevante, una tendencia a la baja desde el año 2014, atribuida principalmente a la mejora de productividad en el uso final de energía primaria (gas natural y bagazo) y, en menor medida, al uso final de electricidad. También se puede apreciar que, aunque la tendencia de incre-

mento de la intensidad energética de derivados de petróleo disminuye, ésta persiste y explica, en buena medida, la intensidad energética del sistema económico energético boliviano.

Figura 6: Intensidad energética de uso final por componentes

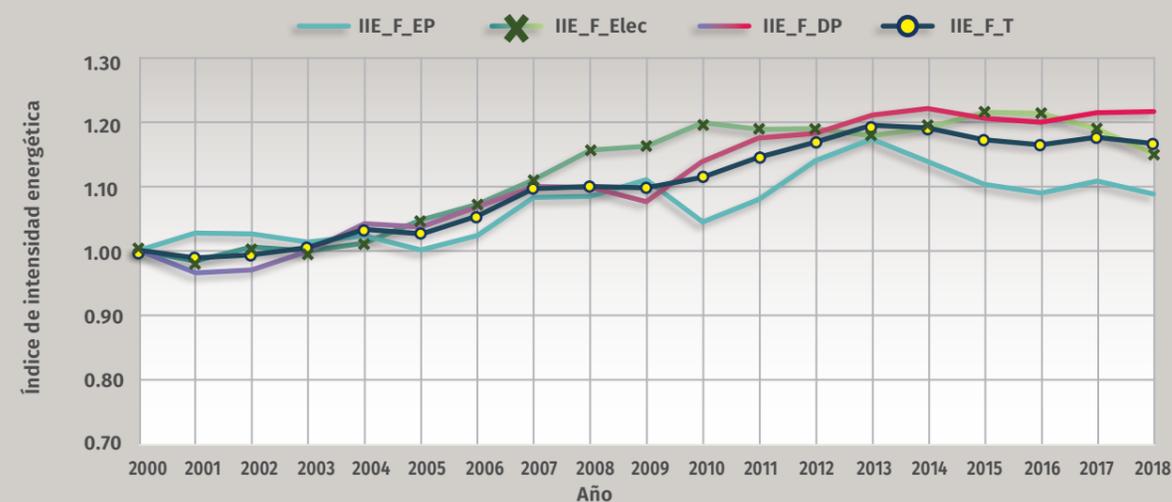


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, puesta la evolución de la intensidad energética de uso final en términos de índice, cuyo valor inicial de la serie tiene por definición el valor de 1, encontramos que la intensidad energética del país, en promedio, se ha incrementado en 17%, situación que se atribuye principalmente al incremento del uso final de derivados de petróleo; al mismo tiempo, se observa una mejora en la productividad de uso final de la energía primaria, es decir, de bagazo y gas natural.

Se encuentra así otro indicador de eficiencia energética que expone de manera objetiva un campo en el que se demanda el papel de la política energética: se trata del uso final de derivados de petróleo en el transporte público y particular de carga y pasajeros, servicio energético que demanda intensivamente combustibles líquidos, alguno/os de ellos/s importados y subsidiados en el mercado interno.

Figura 7: Evolución de la intensidad energética de uso final



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Intensidad energética industrial

El Uso Final Energético en el sector Industrial (UFE\_Ind) corresponde a toda la energía neta entregada a los usuarios finales de ese sector para sus procesos de transformación.

Antes de estudiar la evolución del uso final energético, es preciso señalar aquellas características de la información analizada que establecen algunos límites al alcance del este Reporte.

La información sobre uso final energético existe y es consistente sólo en el caso de la electricidad y del gas natural distribuido por redes. No ocurre lo mismo en el caso de los derivados de petróleo ni en el del uso final energético de biomasa.

En el caso de los derivados de petróleo, GLP, diésel y queroseno, para uso industrial, la información proviene de aquella reportada en la distribución mayorista y distribuida porcentualmente entre los sectores económicos. Existen, adicionalmente, registros de ventas directas de GLP y diésel en una categoría denominada "GRACOS" (grandes consumidores) –entre los que se encuentran usuarios del sector industrial– cuyas ventas están registradas. Con todo, su identificación sectorial no es del todo clara y no es posible utilizarlas en el Reporte.

En el caso de la biomasa, la propuesta metodológica del cálculo de la oferta total primaria de bagazo de caña ha permitido aproximarse al orden de magnitud del consumo energético del mismo a través de la producción de azúcar declarada, la revisión de los balances de energía y materia de algunos ingenios azucareros, y la electricidad inyectada en el SIN.

Por los mismos motivos de ausencia de información, no se incluyen en el presente Reporte los usos energéticos de otros tipos de biomasa como leña, estiércol y varios residuos vegetales.

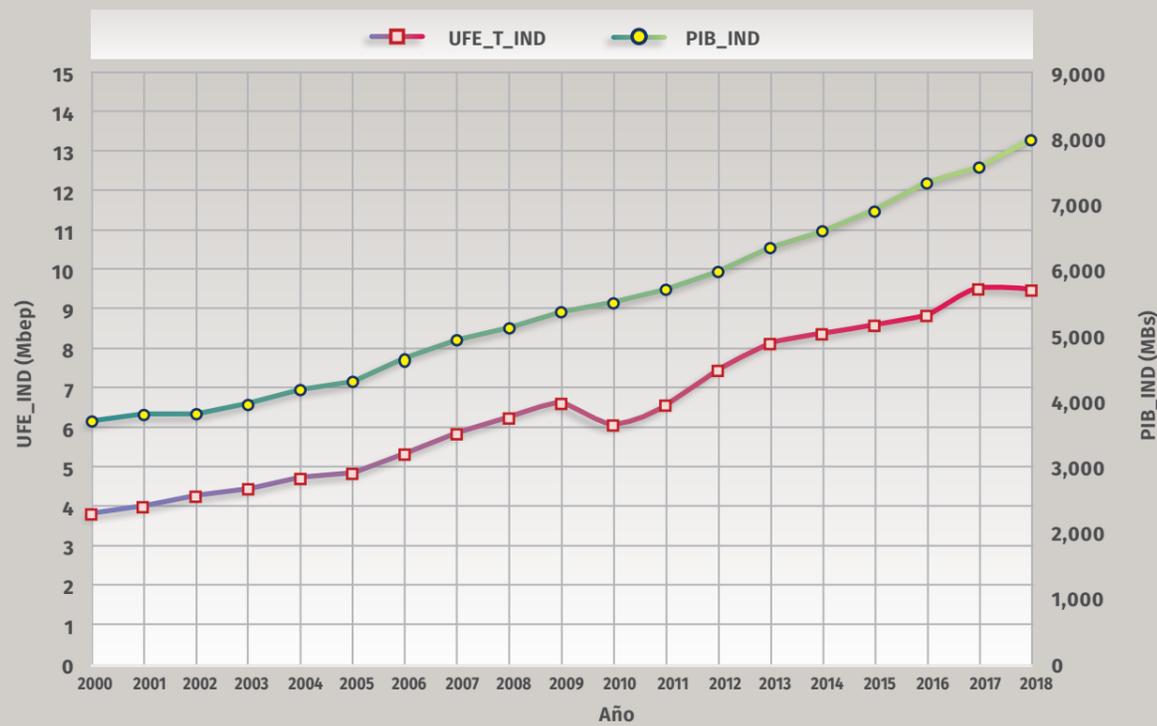
Finalmente, la adición de bagazo al consumo de gas natural y electricidad permitiría que el indicador incorpore al menos el 80% del consumo energético del sector industrial, valor que podría considerarse suficiente para dar consistencia al indicador.

En este marco de definiciones, el uso final energético en el sector industrial en Bolivia habría alcanzado, en 2018, a 9,479 kbep. Su evolución tiene las siguientes características:

- Una tasa de crecimiento en el período de análisis de 5.17%/año.
- Medido en términos de energía primaria, el 77.3% del UFE\_Ind fue aportado por gas natural, ya sea por medio de redes de gas (63.8%), o por electricidad (13.5%) cuya fuente primaria es gas natural. El 22.7% del UFE\_Ind es aportado por la combustión de biomasa.

La Figura 8, a continuación, expone la evolución del uso final energético en el sector industrial –medido en unidades calóricas de uso final– y el Producto Interno Bruto del sector industrial (PIB\_Ind).

Figura 8: Evolución del UFE y PIB en el sector industrial



Fuente: Elaboración propia.

Las magnitudes mostradas en la Figura 8 permitieron el cálculo de la intensidad energética en el sector industrial. Ésta alcanzó, en 2018, el valor de **1.19 bep/10<sup>3</sup> Bs.**, tuvo un valor máximo de 1.28 bep/10<sup>3</sup> Bs. en 2013, y ha experimentado un incremento de 0.78%/año durante el período de análisis.

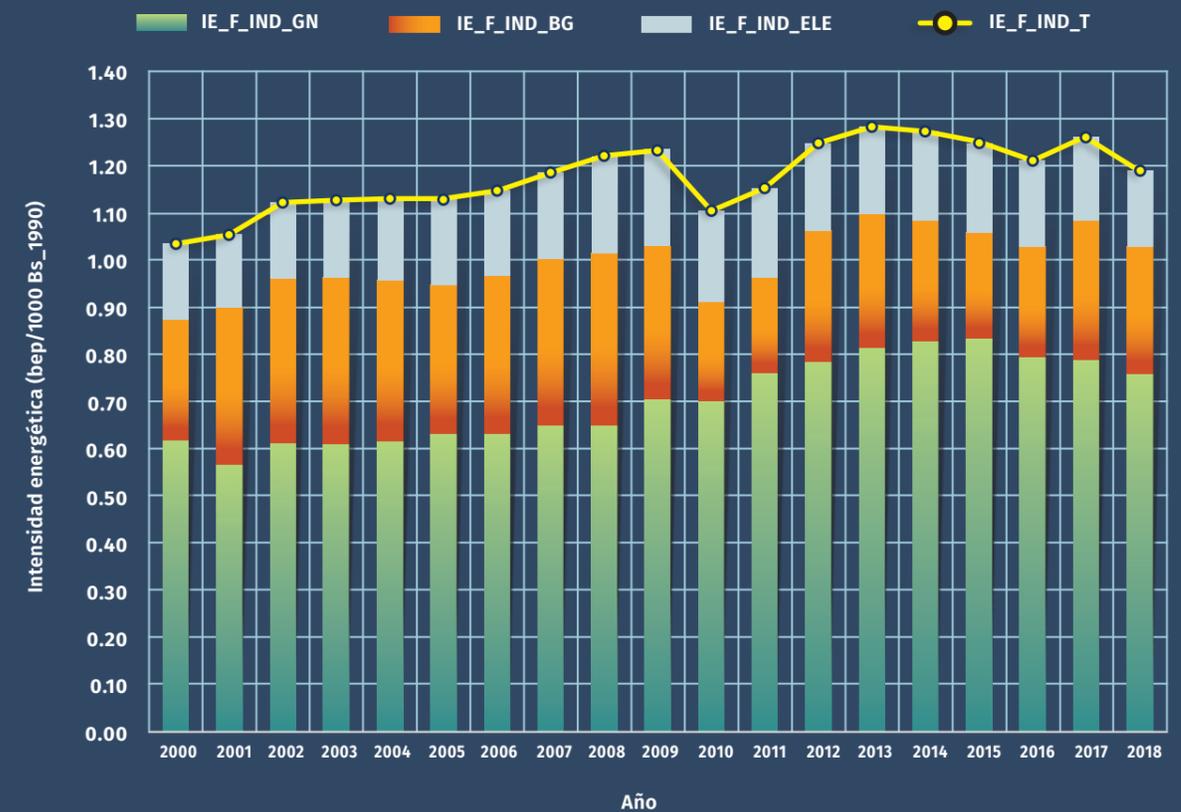
El valor de intensidad energética final en el sector industrial, en 2018, tiene tres componentes:

- La intensidad energética debido al uso final de gas natural es de 0.76 bep/10<sup>3</sup> Bs., y tuvo un crecimiento de 1.14%/año.
- La intensidad energética por el uso final de biomasa (bagazo de caña) es de 0.27 bep/10<sup>3</sup> Bs., y tuvo un crecimiento de 0.32%/año.

- La intensidad energética por uso final de electricidad es de 0.16 bep/10<sup>3</sup> Bs., y creció a una tasa de 0.02%/año.

La Figura 9 muestra la evolución de la intensidad energética de uso final del sector industrial por sus componentes. En ella se puede apreciar, de manera relevante, una tendencia a la baja desde el año 2013, atribuida principalmente a la mejora de productividad energética de los tres principales energéticos.

Figura 9: Intensidad energética final industrial por componentes



Fuente: Elaboración propia.

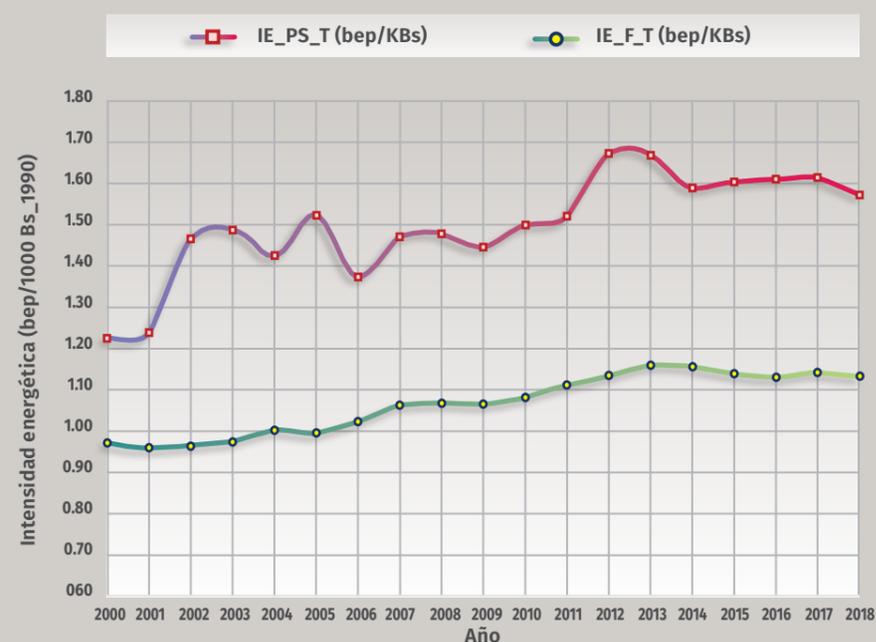
La desagregación de la intensidad energética por componentes es útil para orientar el diseño de la política de eficiencia energética: la pérdida o ganancia de productividad energética está fuertemente relacionada con los usos finales térmicos en la industria y la mejora de la eficiencia y productividad energética de la industria del bagazo/cogeneración, explicada por una mayor productividad energética debido a un incrementado valor agregado (valor de ventas de electricidad en el SIN) con similar consumo de energía primaria de bagazo.

### 3.4 Intensidad energética en la transformación

Un resultado no esperado en el estudio para la redacción de este Reporte, ha sido encontrado al analizar la diferencia entre la intensidad energética de oferta total –primaria y secundaria– y la intensidad energética final. En la Figura 10 puede observarse que, desde el año 2003, ésta última siempre fue superior al 25% de la intensidad energética primaria, e incluso alcanzó al 35% de esta última el año 2005.

El valor de intensidad energética encontrada cumple con el análisis dimensional descrito en el marco conceptual del estudio: se trata de un consumo de energía al nivel de la transformación de fuentes primarias en secundarias con escaso incremento del valor agregado en esta etapa de la cadena.

Figura 10: Comparación de la intensidad energética total y de uso final



Fuente: Elaboración propia.

El consumo de energía en los procesos de transformación mencionados debe atribuirse, en principio, a la energía útil requerida para que un proceso físico/químico ocurra, a las pérdidas por rendimiento termodinámico en los procesos de transformación –el cual es inherente a la tecnología de transformación energética–, y a las pérdidas por ineficiencias en las operaciones, fenómeno relacionado con la gestión, la organización de las operaciones, el consumo propio de energía de las centrales de transformación y, muchas veces, el déficit en el acoplamiento de las fuentes energéticas y el producto de la transformación.

### 3.4.1 Rendimiento energético global en la generación de electricidad

La generación bruta de electricidad en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), medida en bornes de generador en las centrales de generación, ha alcanzado, en 2019, el valor de 9,530 GWh, y tuvo un crecimiento de 5.70%/año entre los años 2007 y 2019.

Esta oferta de energía eléctrica proviene, mayoritariamente, de las centrales eléctricas a gas natural (60.8%) e hidroeléctricas (34%). Algo menos del 6% proviene de la generación de electricidad en plantas de energía solar (1.9%), del bagazo (1.6%), del diésel (0.9%), de la energía eólica (0.7%) y de sistemas bi-combustible de gas natural y diésel (0.1%)<sup>7</sup>.

La Figura 11, a continuación, muestra de manera relevante un proceso de transición de la matriz de generación de electricidad a favor de la generación eléctrica de fuente renovable.

Figura 11: Evolución de la Generación Bruta de electricidad



Fuente: Elaboración propia.

La energía de entrada a las centrales eléctricas alcanzó, en 2019, a 22,889 GWh y está compuesta por gas natural (72.3%); hidroenergía (16.7%); potencial solar (5.5%); biomasa (4.0%); diésel (0.9%) y, energía eólica (0.2%).

Los valores de la energía de entrada para el presente reporte fueron calculados siguiendo dos caminos:

- ▶ A partir del contenido energético de los combustibles utilizados en las centrales a gas natural y diésel.

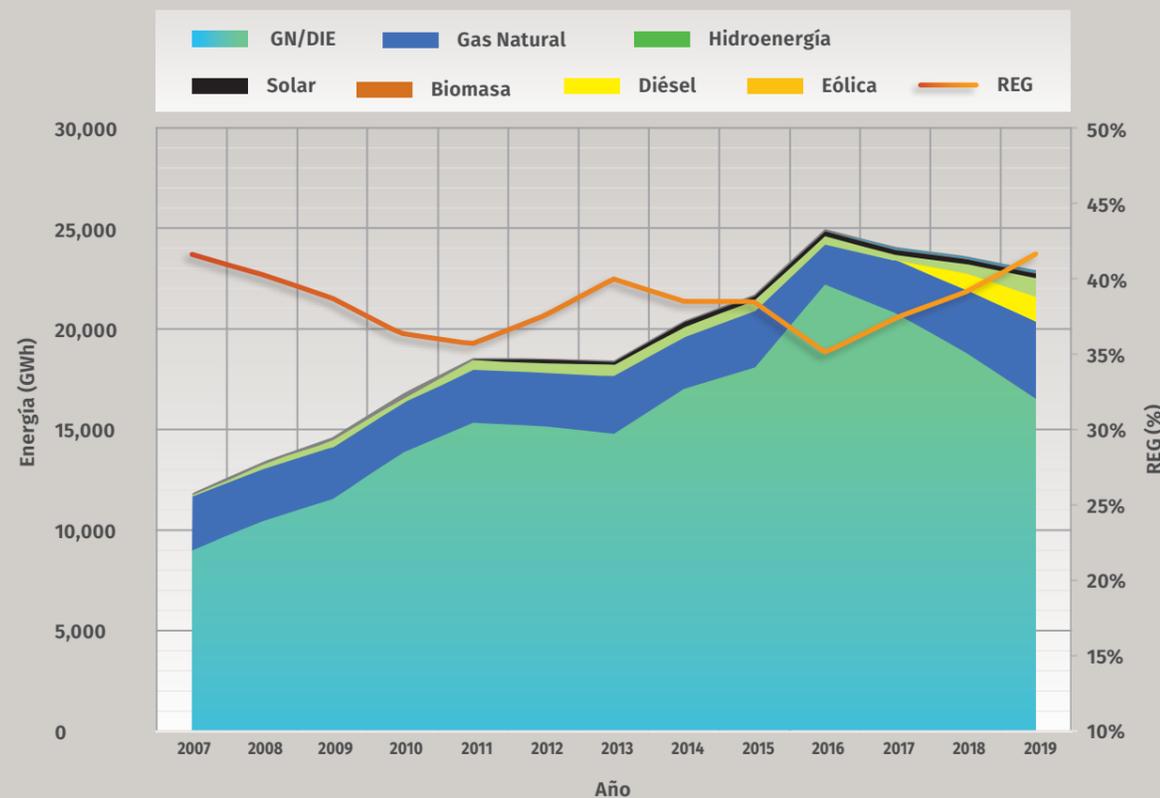
<sup>7</sup> Se refiere a la generación de tres unidades en la Central Aranjuez que, según la información recolectada, utilizan ambos combustibles.



- Afectando el dato de electricidad generada en las centrales de generación de electricidad con fuente renovable con: el promedio de rendimiento alcanzado en ensayos de potencia efectiva en las centrales hidroeléctricas; el promedio de rendimiento efectivo de las plantas solares de Oruro, Uyuni y Yunchará; el coeficiente denominado Límite de Betz en el caso de las plantas eólicas; y un modelo de aproximaciones sucesivas que relaciona la producción de caña de azúcar en campo, la producción de azúcar, la inyección de electricidad en el SIN, y los valores declarados de autoproducción en las centrales de azúcar.

La relación entre la generación bruta y la energía de entrada a las centrales eléctricas, denominada rendimiento energético global, tiene, a finales de 2019, el valor de 41.6%. Estaría próximo a alcanzar el valor máximo de 42% alcanzado en 2007, y superando, paulatinamente, un mínimo de 35% ocurrido el año 2016 (Figura 12).

Figura 12: Evolución del rendimiento energético global en la generación de electricidad



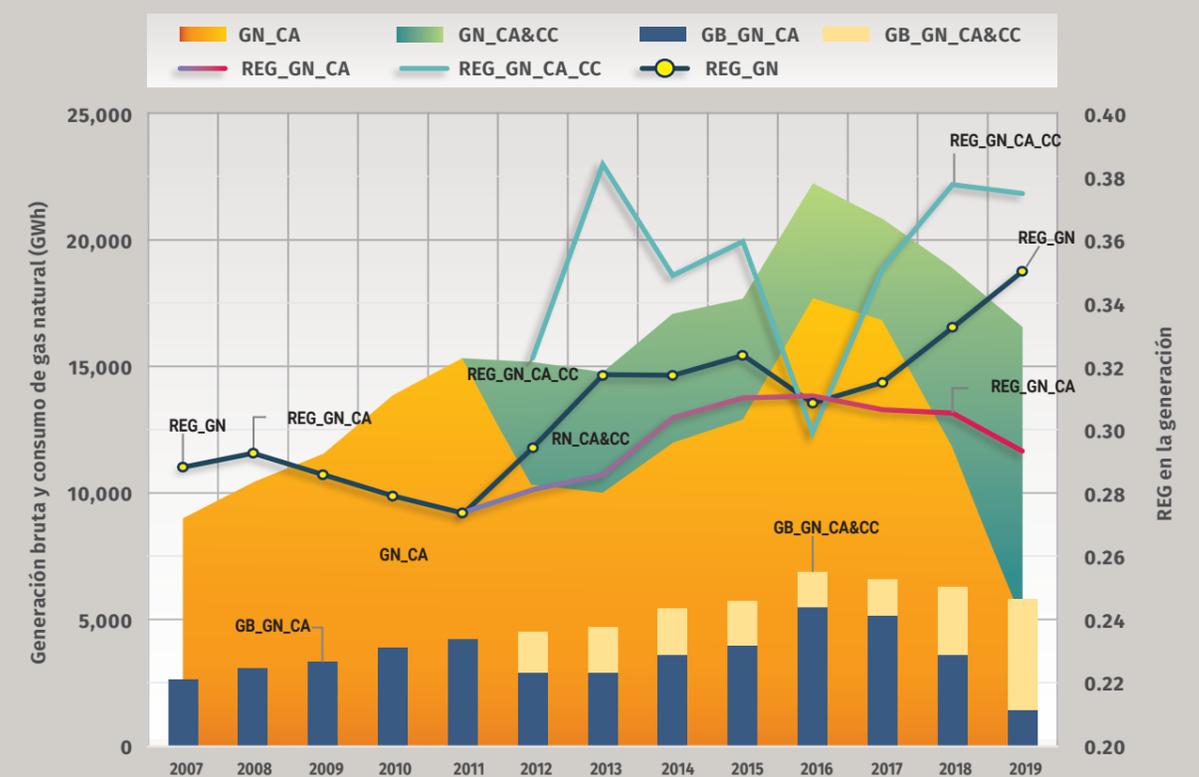
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 muestra una mejora sostenida del indicador a partir de un punto de inflexión ocurrido en el año 2016, marcado por la reducción del consumo de gas natural en las centrales que contienen equipos de ciclo combinado y el incremento de la oferta total de origen renovable, particularmente hidroenergía y potencial solar.

Por su importante participación en la matriz de generación de electricidad, es necesario detenerse a exponer el rol de la hidroenergía y las centrales que contienen turbinas de gas natural de ciclo combinado en la mejora del rendimiento energético global del sistema:

- En el primer caso, el de las **centrales hidroeléctricas**, los estudios de potencia efectiva de estas centrales muestran valores de rendimiento energético de entre 76% a 90%, dependiendo si éste es medido al nivel de la superficie de embalse o al ingreso en centrales de transformación. En cualquiera de los dos casos, el elevado rendimiento –atribuido al tipo de acoplamiento energético– es parte relevante en el proceso de transición energética y de mejora del REG del sistema.
- En el segundo caso, el de las **centrales térmicas** a gas natural, se encuentra que la introducción de los equipos de ciclo combinado en las centrales a gas natural supuso una mejora radical de su eficiencia energética y una importante reducción del consumo de gas natural (Figura 13).

Figura 13: Evolución del rendimiento energético global en las centrales a gas natural



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 13 muestra que la generación bruta en centrales con equipos de Ciclo Abierto (GB\_GN\_CA) y en centrales que contienen equipos a Ciclo Combinado (GB\_GN\_CA&CC) –columnas azul y verde en primer plano– experimenta un cambio de tendencia a partir de 2016 debido a la transición tecnológica lograda con la introducción de equipos de ciclo combinado. Es así como la generación bruta en centrales que contienen equipos de ciclo combinado alcanzó a 4,318 GWh en 2019.

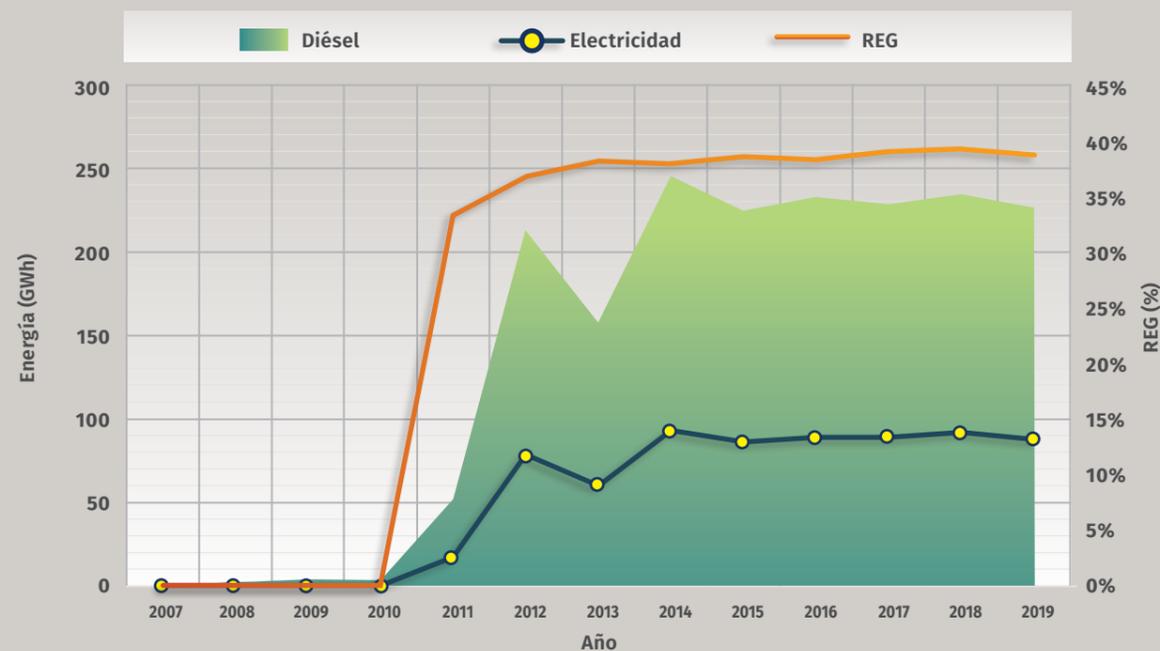
En segundo plano –áreas de color naranja y amarillo– la Figura 13 muestra el impacto que tiene sobre el consumo de gas natural (GN\_CA y GN\_CA&CC) de una determinada central de generación de electricidad, el ingreso –o salida temporal– de los equipos a ciclo combinado.

En efecto, la salida de servicio de los equipos de ciclo combinado de la central Guaracachi, en 2016, supuso la caída de REG de la central (REG\_GN\_CA\_CC), la pérdida de REG de todo el sistema (REG\_GN) y un incremento importante en el consumo de gas natural (GN\_CA).

A partir de este año –2016– se inicia el proceso de fortalecimiento de las centrales a gas natural que contienen equipos a ciclo combinado<sup>8</sup> que alcanzan un REG de alrededor del 38%, mientras que las centrales a gas natural con solamente equipos de ciclo simple pueden tener REG incluso menores a 28% (REG\_GN\_CA). El resultado es evidente al observar la reducción del consumo total de gas natural en ambos tipos de centrales.

Por otra parte, la expansión de la red de transmisión y la integración en el SIN de varios sistemas aislados que utilizan equipos a diésel para atender el suministro de electricidad a varias ciudades de la región amazónica, implica un proceso necesario de reducción de REG debido a las limitaciones de la tecnología. La Figura 14 expone la evolución del REG en las centrales a diésel.

**Figura 14: Evolución del rendimiento energético global en las centrales a diésel**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>8</sup> Se menciona a centrales que contienen equipos a ciclo combinado debido a que la medición de consumo de gas natural –según la información oficial pública– ocurre al ingreso de las centrales y no permite discriminar el consumo por unidades de generación de distinta tecnología.

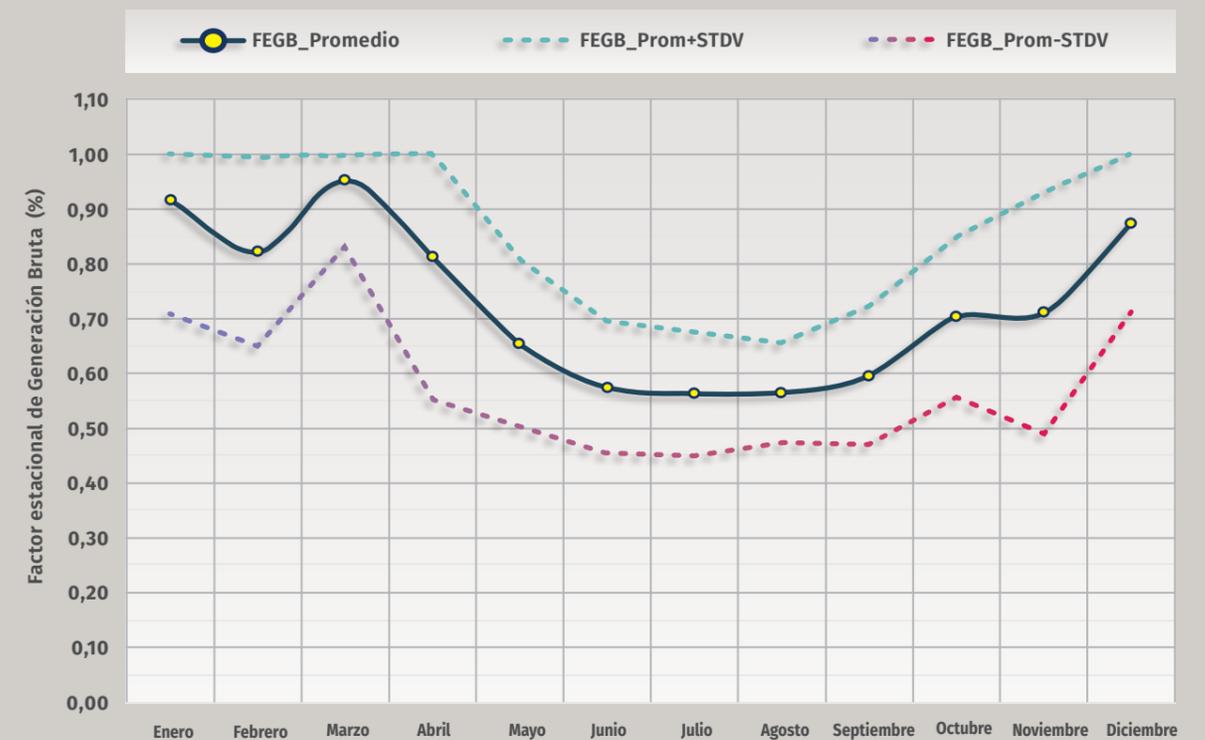
Si bien la generación de electricidad con diésel tiene bajos costos de inversión, requiere proyectos de baja complejidad técnica, y tiene un elevado REG en el campo de la generación térmica. Es necesario mencionar que su operación supone acrecentar las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> y un presupuesto destinado a subvencionar el combustible con el que estas centrales operan<sup>9</sup>.

Volviendo al estudio de las centrales de origen renovable, empezando por las centrales hidroeléctricas, debe remarcarse que más allá del elevado rendimiento energético global de las centrales –cuando éstas operan a plena capacidad– debe analizarse su participación mensual, diaria e incluso horaria.

El fundamento para este tipo de análisis radica en un simple razonamiento: la inclusión –o retiro– de 1 kWh generado con hidroelectricidad en un nivel alto de REG (85%), supone el retiro –o inclusión– de 1 kWh de origen térmico, generado con bajo rendimiento (35%) a base de gas natural o diésel, hecho que implica un costo económico para el país<sup>10</sup> y un incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En tal sentido, es importante analizar la variación estacional de la generación hidroeléctrica mostrada en la Figura 15.

**Figura 15: Variación estacional de la generación hidroeléctrica (2007-2019)**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>9</sup> El precio del diésel para la generación de electricidad fue establecido, mediante Resolución SSDH 583/2001 de 16 de noviembre de 2001 de la Superintendencia de Hidrocarburos, en 1.10 Bs./L (0.16 \$US/L) (AETN, 2015:165).

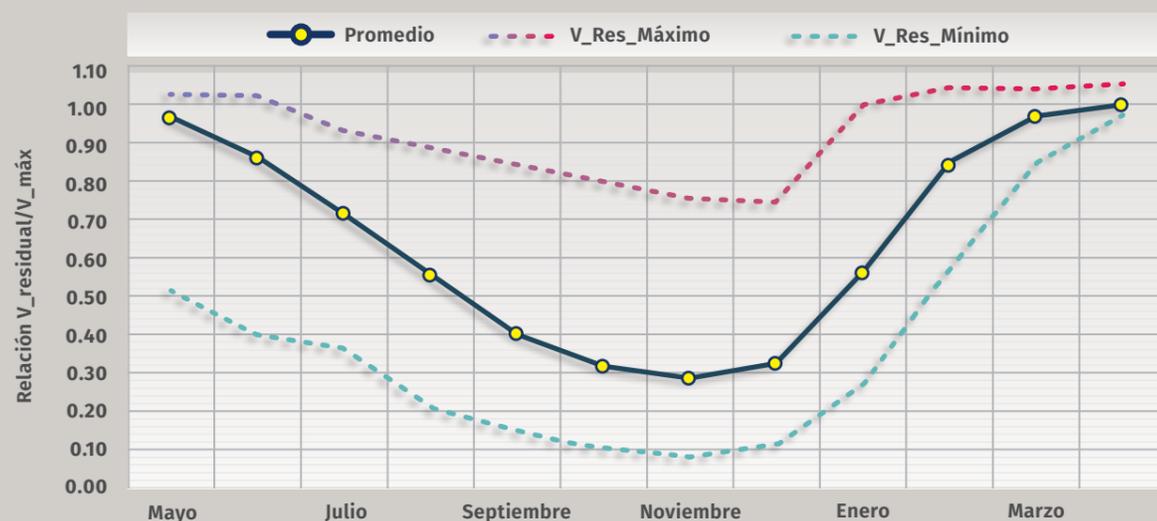
<sup>10</sup> El precio del gas natural destinado a la generación de electricidad está fijado en 1.30 \$US/10<sup>3</sup>p<sup>3</sup>, desde el mes de enero del año 2001 (DS 26037,2000:2).

En la Figura 15 se puede observar que la disminución de la oferta hidroenergética, función directa del balance hídrico en las cuencas de las zonas altas y de la cordillera, establece una condición estructural al comportamiento del rendimiento energético global anual del sistema eléctrico boliviano y definiría, al menos en teoría, la política de gestión del despacho de carga.

No obstante, la eficacia en la utilización de los embalses no constituye –directamente– un indicador de eficiencia energética, es definitiva en el resultado mensual del REG. Para exponerlo de mejor forma, se analizó la variación mensual de la relación entre el volumen residual de un embalse respecto a su valor máximo al final de la temporada de recarga. La Figura 16 muestra el resultado del análisis.

Se puede apreciar, en la figura mencionada, que existirá un límite máximo de REG para cada época del año, pues la inclusión de las unidades hidroeléctricas en el despacho dependerá del volumen útil residual en los embalses. En este marco, una política de eficiencia energética apropiadamente enfocada debiera monitorizar, además del REG mensual, la eficacia y seguridad de la reserva en la utilización de los embalses.

**Figura 16: Evolución mensual del aprovechamiento de embalses**



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la Figura 16 muestra que, en promedio, los embalses bolivianos alcanzan a un volumen útil mínimo equivalente al 30% de aquel medido al final del período de recarga. Este valor, que podría ser considerado como uno de reserva ligeramente elevada, no refleja los extremos por los cuales está conformado: i) existen embalses que utilizan hasta el 92% del volumen disponible al final del período de recarga y, ii) por el contrario, otros apenas habrán utilizado el 26% del volumen disponible, dejando sin aprovechar una cantidad importante de oferta hidroenergética que, seguramente, debió ser cubierta por generación térmica.

Adicionalmente, y como fue mencionado líneas arriba, el REG de las centrales a biomasa, eólicas y solares, para los fines de este reporte, adopta valores fijos: i) se estima que las centrales a biomasa alcanzan un REG de 15.03%, valor cercano al promedio, no medido, de un ciclo de vapor simple de elevada eficiencia; ii) para las centrales solares se estimó el valor de 14.4%, promedio

de rendimiento de las centrales solares de Oruro, Yunchará y Uyuni; iii) en el caso de las centrales eólicas, se adoptó el valor máximo de 59.3%, conocido como el *Límite de Betz*.

El estudio de la oferta ha mostrado que el potencial energético de las centrales a biomasa es muy importante y, dado que se trata de centrales auto-productoras, se entiende que la cantidad de electricidad inyectada en el SIN dependerá de la eficiencia energética en las operaciones térmicas y eléctricas de la propia fábrica, antes que el REG del ciclo de vapor.

Por su parte, el valor adoptado en las plantas solares podrá ser rápidamente reemplazado por un valor del mismo orden de magnitud proveniente de mediciones, sujeto a la incorporación de algunas modificaciones menores en el procesamiento de la información y su apropiada inclusión en los formularios de información del sector eléctrico (F\_ISE).

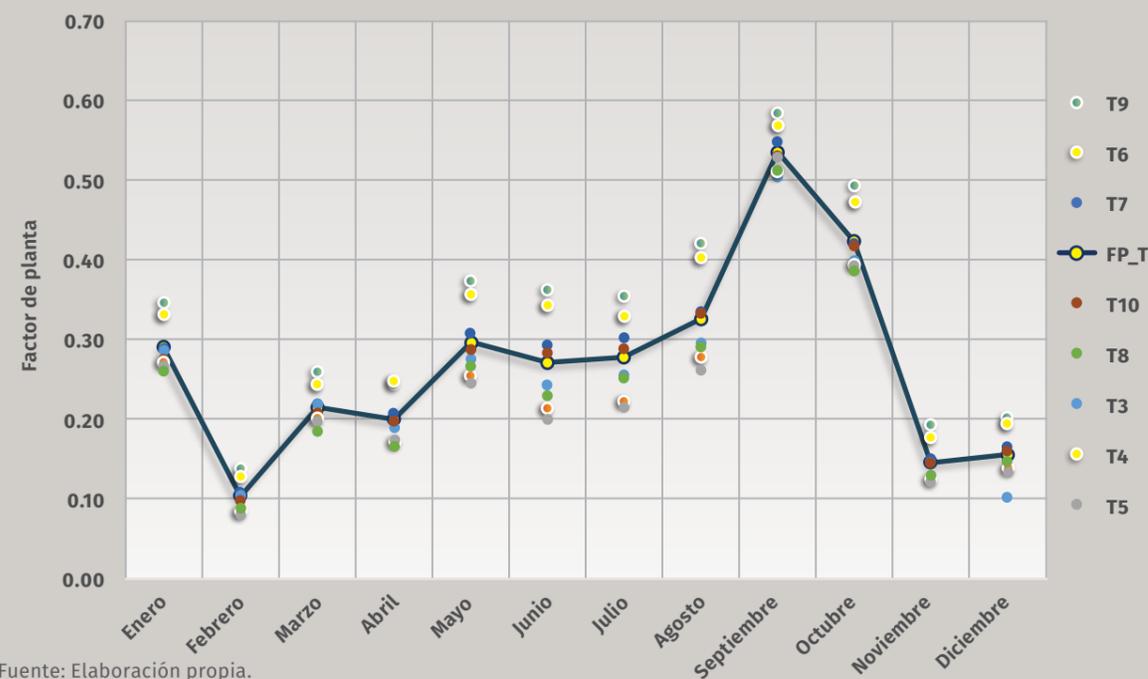
En el caso de las plantas eólicas, sin embargo, se ha encontrado que el beneficio de medir un REG diferente al valor máximo adoptado no es significativo. Por el contrario, el estudio ha encontrado que un indicador relacionado, tanto con la eficiencia energética como con la eficacia en la transformación energética de un determinado potencial, es el factor de planta actual.

La Figura 17 muestra el comportamiento del factor de planta mensual de una central eólica, tanto para las unidades de generación como para el conjunto de la central.

La información nos muestra que el factor de planta de la central analizada, cuyo valor anual es de 0.27, tiene variaciones a lo largo del año tanto en el total como entre las distintas unidades de generación. En efecto, se puede apreciar que algunas unidades de generación (nominadas T1, T2...T9) alcanzan factores de planta mayores respecto a otras, aunque se encuentran en la misma central de generación.

En este marco, el monitoreo de este factor tendrá mayor utilidad para el despacho de carga y la evaluación de la eficacia de una instalación.

**Figura 17: Evolución mensual del factor de planta en una central eólica**



Fuente: Elaboración propia.

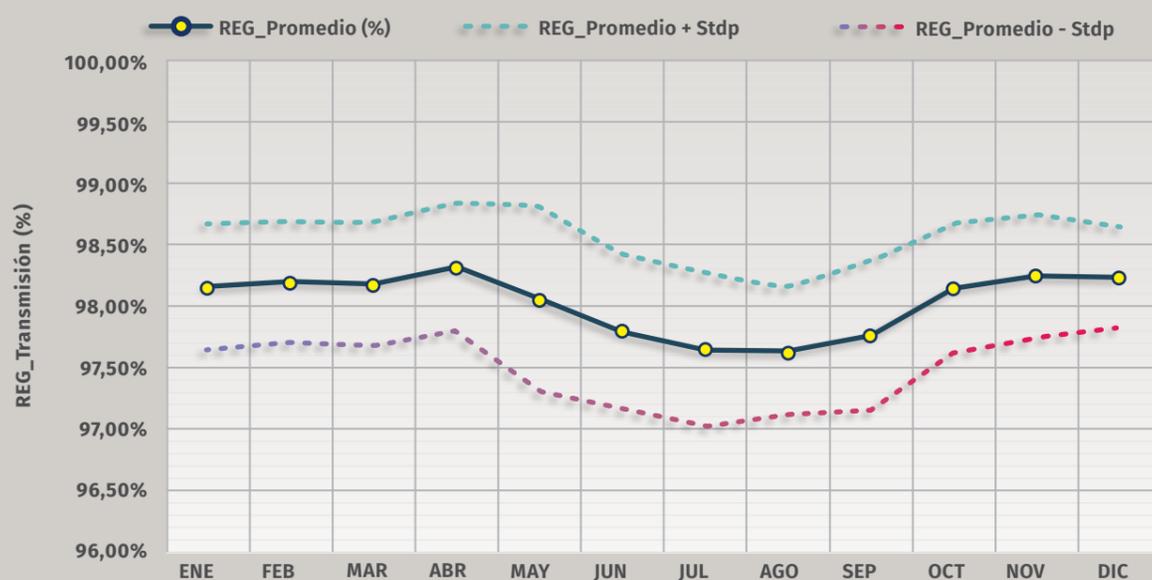
### 3.4.2 Rendimiento Energético Global en la transmisión de electricidad

La relación entre la energía eléctrica en nodos de retiro y nodos de inyección, denominada, según nuestras definiciones, como Rendimiento Energético Global (REG) en el sistema de transmisión, alcanzó en 2019 el valor de 98.23%. El valor anual, entre 2000 y 2019, no tuvo variaciones mayores al 0.7% (Figura 18).

Más importante que la variación anual es, sin embargo, la variación mensual del REG en el sistema de transmisión del SIN. Esta variación, evaluada entre los años 2000 y 2019 es mostrada en la Figura 18, y podría atribuirse –léase en términos de hipótesis– al incremento de las pérdidas por efecto Joule en el sistema de transmisión debido a la disminución del potencial hidráulico en las centrales de la cordillera y el consiguiente transporte de electricidad hacia el occidente del país.

Como fue analizado en puntos anteriores, el valor del REG del sistema de transmisión tendrá límites superiores mensuales, muy relacionados con las condiciones del balance hidráulico en las centrales hidroeléctricas y la eficiente y eficaz gestión del despacho de éstas.

Figura 18: Variación mensual del rendimiento energético global en la transmisión de electricidad (2000 - 2020)



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3 Rendimiento energético global en la distribución de electricidad

La distribución de electricidad a usuarios finales del Sistema Interconectado Nacional (SIN) ha alcanzado, en 2019, al valor de 7,824 GWh, y tuvo un crecimiento de 5.7%/año entre los años 2007 y 2019.

Algo más que el 41.2% de esa cantidad de electricidad fue entregada a usuarios de la categoría residencial; el 25.4% a usuarios de la categoría industrial; el 21.5% a usuarios de la categoría general; y el 11.8% a usuarios de las categorías minería, alumbrado público y otros.

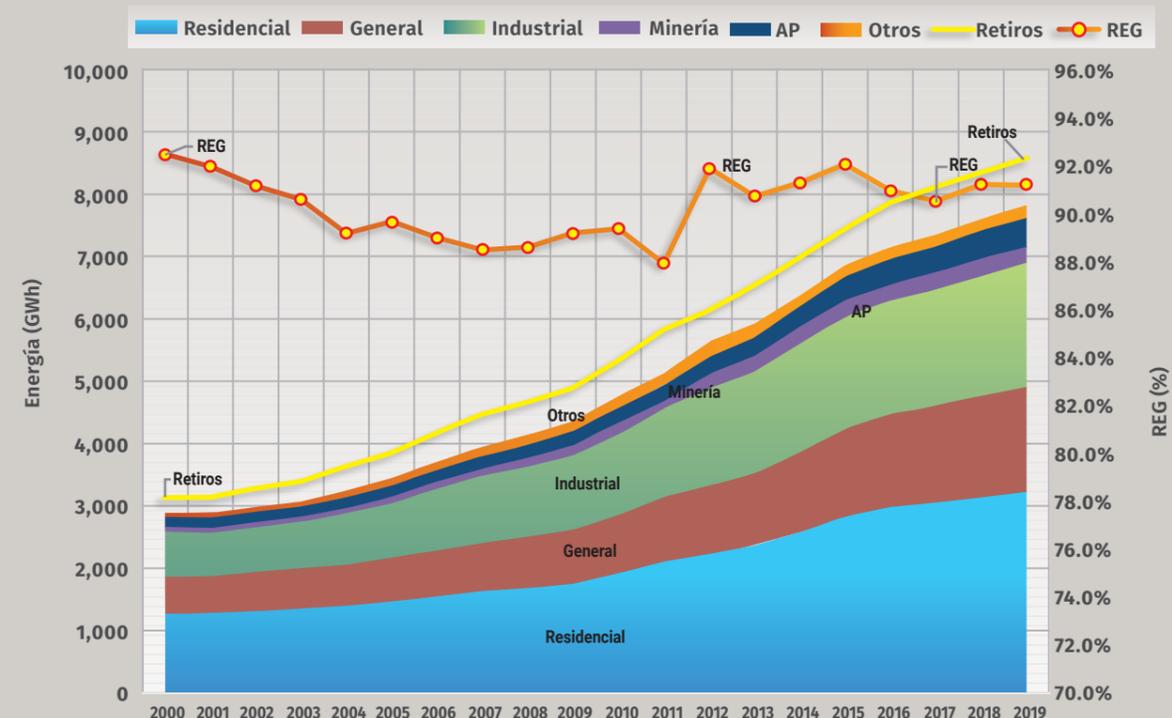
Para cubrir esta demanda, en 2019, las distribuidoras retiraron de los nodos del SIN una cantidad de 8,581 GWh. La cantidad de electricidad retirada anualmente tuvo un crecimiento de 5.6%/año.

La relación entre la cantidad de electricidad entregada a los usuarios y la retirada en nodos, denominada, según nuestras definiciones, como rendimiento energético global en el sistema de distribución, alcanzó en 2019 el valor de 91.2%.

El valor anual, entre 2007 y 2019, tuvo una variación máxima de 4.1%.

La Figura 19, a continuación, muestra la evolución del REG en los sistemas de distribución del Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Figura 19: Evolución del rendimiento energético global en la distribución de electricidad



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 19, además, permite observar un cambio de tendencia entre el REG medido en los años 2000 a 2010 respecto a la tendencia de los años 2013 a 2019, un cambio que marca una mejora de eficiencia energética ocurrida en el período 2010 a 2013<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> No obstante, el método de cálculo de REG es el mismo para todas las gestiones, se advierte un cambio en el valor numérico del REG en las gestiones 2011 y 2012 que también podría atribuirse a dificultades estadísticas que no han podido ser resueltas por el presente estudio.



# IV

●

## RESULTADOS

## IV. Resultados

Con el propósito de proporcionar información útil para el diseño de la política energética y de la política de eficiencia energética en el país, este Reporte ha encontrado que la evolución de los indicadores de intensidad energética da cuenta de una mejora general de la productividad energética boliviana respecto a su similar en 2013. Esta mejora de productividad, reflejada en la disminución de la intensidad energética, se verifica tanto al nivel de oferta total, como de uso final agregado y uso final industrial.

Se evidencia también el inicio de un proceso de transición energética en el sistema eléctrico en favor de la eficiencia energética y las fuentes de origen renovable, proceso que puede atribuirse a:

- ▶ La mejora de la eficiencia energética en el sistema de generación eléctrica, debido al incremento de la generación hidroeléctrica y de la generación térmica a gas natural con equipos de ciclo combinado.
- ▶ El incremento de las inyecciones de las centrales eléctricas a biomasa.
- ▶ El crecimiento de la oferta renovable, particularmente solar.

Este proceso de transición energética, a pesar de ser incipiente, ha mostrado ser eficaz en la reducción del consumo de gas natural en el sistema eléctrico boliviano.

No obstante, hubo una evolución favorable en el mediano plazo, se evidencia una pérdida de productividad energética respecto al año 2000. En esta evolución adversa es imprescindible fijar la atención en:

- ▶ El incremento del consumo de derivados de petróleo, particularmente en el transporte.
- ▶ Un aparente deterioro de la productividad energética de los sistemas de transformación de energía primaria en energía secundaria.

Dado que se evidencia una mejora en el rendimiento energético global, de los sistemas de transformación de electricidad, cabría preguntarse



acerca de la necesidad de diseñar un banco de indicadores de monitoreo de la eficiencia energética en los sistemas de transformación de combustibles, que ayuden a explicar las causas de este aparente deterioro.

En otro campo de análisis, el estudio ha encontrado que la variación mensual de la oferta hidroenergética, ocasionada por la evolución anual del balance hídrico en las cuencas de tierras altas, establece un límite natural al REG del sistema de generación de electricidad.

Dado que varios estudios identificaron que el retroceso de la masa glaciar y la alteración del régimen hídrico son, entre otras, las principales vulnerabilidades bolivianas ante el cambio climático<sup>12</sup>, se considera de alta importancia la inclusión –en la política de eficiencia energética– de un enfoque de gestión eficaz y adecuada de los embalses, a los fines de: i) mejorar el REG del sistema nacional; ii) reducir el consumo de gas natural; y iii) garantizar la sostenibilidad de la generación hidroeléctrica.

En lo operativo y metodológico se ha comprobado que el cálculo de indicadores para monitorizar la eficiencia energética es posible, y su cálculo será cada vez más sólido en tanto esté respaldado por la mayor cantidad de información. En este sentido, la factibilidad de su cálculo estará sujeta a pequeñas modificaciones (las que aparecen en el listado siguiente) en el proceso de toma, registro, flujo y publicación de la información.

<sup>12</sup> Dos estudios, en especial: Soruco A, Vincent C, Francou B. and Gonzalez JF (2009a) *Glacier decline between 1963 and 2006 in the Cordillera Real*, p.154, Y Soruco A. et al (2009b) *Mass balance of Glaciar Zongo, Bolivia, between 1956 and 2006, using glaciological, hydrological and geodetic methods*, p.50.

Descripción	Observación	Modificación
Centrales de generación de fuente alternativa	Las instrucciones de llenado del F_ISE 110-a agrupan en la cuenta otras a todas las formas de generación alternativa.	Incorporar en las instrucciones de llenado del F_ISE 110_a la identificación específica de las centrales de fuente solar, eólica y geotérmica
Balance energético en nodos del MEM	El concepto de venta directa vigente en Formularios ISE y la Norma Operativa 31 es diferente e impedirá el cálculo automatizado del balance de energía entre los bornes de generador de una central y los nodos del MEM.	Armonizar el concepto venta directa entre el Formulario ISE_100 y la Norma Operativa 31.
Cálculo de la hidroenergía y REG en centrales que poseen facilidades de medición.	Para calcular la oferta total y el REG en centrales hidroeléctricas se requiere la variación mensual de altura de caída bruta de la central.	Cálculo mensual de la altura de caída bruta en centrales hidroeléctricas incluyendo en el Formulario ISE 110_b el dato de altura vertical entre dos niveles de referencia.
Cálculo de la hidroenergía en centrales que no poseen facilidades de medición.	Para calcular la oferta total y el REG en centrales hidroeléctricas se pueden utilizar los ensayos de potencia efectiva de las centrales, si la información de éstos proviene íntegramente de mediciones.	Estudiar a profundidad los ensayos de potencia efectiva y diseñar las curvas de productividad en cada central.
Cálculo de oferta y REG en centrales termoeléctricas.	La información para identificar el tipo y cantidad de combustibles utilizados por las centrales térmicas puede incluir a un más amplio tipo combustibles y centrales.	Modificar las instrucciones del Formulario ISE 110_c1, para incluir combustibles de biomasa diferentes de bagazo de caña; el poder calorífico del combustible utilizado; temperatura media mensual del sitio; cantidad medida de combustible utilizado.
Balance y oferta de energía eólica.	La información relativa a la Oferta Total Primaria aún no está incorporada en los reportes de los actores relevantes del sector.	Modificar las instrucciones de los formularios ISE_110_a1 e ISE_110_a2 para mejorar la identificación de las unidades y centrales. Incluir en los formularios ISE mensuales la información proveniente de la estación meteorológica de cada parque eólico y la curva de potencia de cada unidad.
Balance y oferta energética solar	La información relativa a la Oferta Total Primaria aún no está incorporada en los reportes de los actores relevantes del sector.	Incluir en los Formularios ISE información horaria, diaria, de la radiación total (GHI); Generación Bruta a la salida de los convertidores y consumo propio de la planta (Ver anexo)
Uso final sectorial de combustibles.	Los usos finales de combustibles líquidos y gaseosos, desagregados por categoría de uso final es imprescindible para el cálculo preciso de la intensidad energética desagregada.	Establecer un proceso continuo de mejora continua de la estadística de uso final de combustibles líquidos y gaseosos.

En este campo de análisis se ha encontrado, también, que el cálculo sistemático de los indicadores facilitará la gestión de la información y la estadística energética, como el Balance Energético Nacional, sin la necesidad de apelar a indicadores de eficiencia congelada en la oferta y transformación energética de fuente renovable.

Finalmente, se concluye que el monitoreo sostenido de los indicadores de eficiencia energética facilitará la sistematización de la información que documenta el esfuerzo del país para coadyuvar con los esfuerzos globales de mitigar los efectos del cambio climático.

Adicionalmente, este monitoreo ayudará a materializar la dimensión económica y ambiental de la transición energética, es decir: i) administrar eficientemente la reserva de gas natural para garantizar la sostenibilidad del suministro de electricidad; y ii) planificar la sostenibilidad de la generación hidroeléctrica en la cordillera.



**NIRÁS**  
IP CONSULT

  
cooperación  
alemana  
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

  
60 años  
de Cooperación alemana  
con Bolivia 1962 - 2022

Implementada por:

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH