

# DETECCIÓN DE USO Y MODALIDAD DE CLIMATIZACIÓN ELÉCTRICA USANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA EL DISEÑO DE CAMPAÑAS DIRIGIDAS A DISPUTARLE EL MERCADO A ENERGÉTICOS CONTAMINANTES Y FOMENTAR LA CLIMATIZACIÓN EFICIENTE

PREMIO CIER DE INNOVACIÓN 2023

**2do puesto CATEGORÍA DESCARBONIZACIÓN**

## AUTORES

**Gastón Hernández**, Jefe de Consumo Inteligente. Proyecto Redes Inteligentes

**Emilio Inthamoussu**,

**Fernando Santomauro**,

**Flavia Olivera**,

**Gustavo Alvez**,

**Ignacio Cáceres**,

**Liliana Corna**,

**Santiago Garabedian**

## EMPRESA

UTE

Uruguay

## RESUMEN

Uruguay posee una matriz de generación eléctrica con una alta participación de energía renovable.

La climatización eléctrica compite con otros sistemas que emplean combustibles fósiles y leña, todos ellos con una huella de carbono muy superior a la que ofrecen los sistemas eléctricos.

De acuerdo con los cálculos basados en información oficial y de acceso público, reemplazar una estufa de GLP por un aire acondicionado, evita la emisión de 350 kilos de CO2 en un invierno de uso, y de 2,3 toneladas de CO2 para el caso de la estufa de leña abierta.

Los gases que emiten los sistemas a combustión, provocan 200 intoxicaciones y 20 muertes anuales según datos del Ministerio de Salud Pública.

Utilizando técnicas de Inteligencia Artificial con datos provenientes de la red de Medidores Inteligente y otras fuentes de datos, se implementó una herramienta que identifica la existencia y los modos de uso de la climatización eléctrica en los hogares.

La herramienta permite elaborar listados de clientes objetivo para el armado de campañas comerciales que fomenten la climatización eléctrica y eficiente.

Las proyecciones muestran que al final de un período de cuatro años de campaña, se evitaría la emisión de 52.250 toneladas de CO<sub>2</sub> en un mes.

## INTRODUCCIÓN

Las fuentes renovables superaron el 90% de la matriz de generación eléctrica uruguaya en 2022 <sup>[1]</sup>.

En este país, la climatización eléctrica compite con otros sistemas que emplean combustibles fósiles y leña, todos ellos con una huella de carbono muy superior a la que ofrecen los aires acondicionados con su sistema basado en bombas de calor. La Encuesta Continua de Hogares (ECH) realizada anualmente por el Instituto Nacional de Estadística, contiene datos sobre el uso de energéticos para calefacción en los hogares uruguayos, en el Gráfico 1 se presentan los datos de la edición 2022.

En el marco del problema del cambio climático, en general las propuestas de mitigación pasan por la electrificación de todo lo que hoy se obtiene haciendo uso de combustibles. Esta electrificación debe alcanzar tanto a la industria, como a los hogares <sup>[2]</sup>.

### Fuente energía para calefacción de los hogares

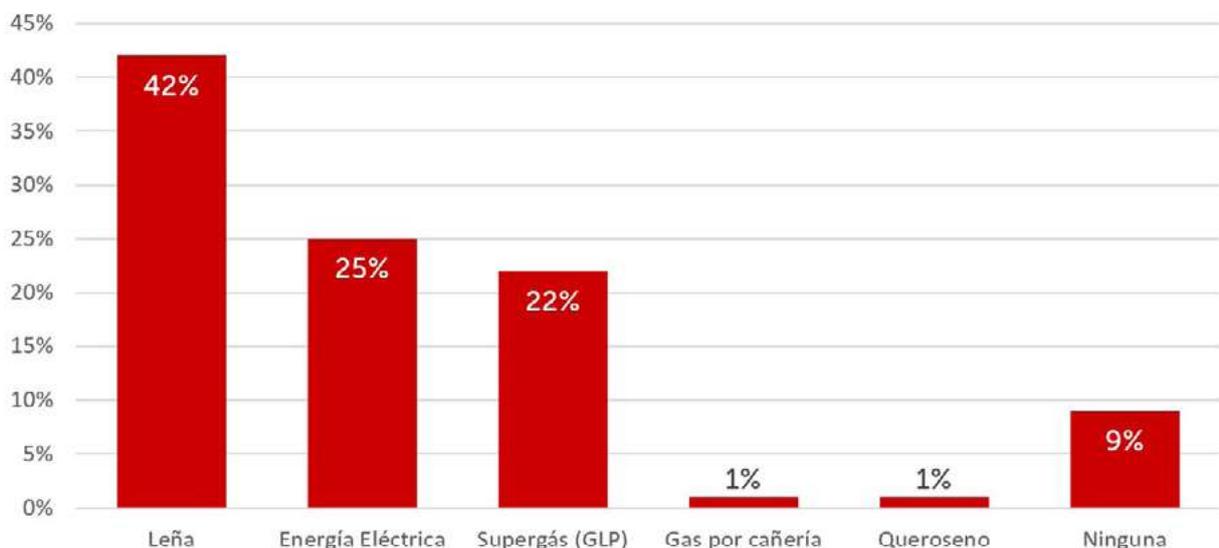


Gráfico 1. Fuente de energía para calefacción. Encuesta continua de hogares. Instituto Nacional de Estadística 2022.

De acuerdo con los cálculos basados en información oficial y de acceso público, reemplazar una estufa de GLP por un aire acondicionado, evita la emisión de 350 kilos de CO<sub>2</sub> en un solo invierno de uso. Las cifras son mucho más dramáticas para el caso de la estufa de leña abierta, pues se evitarían 2,3 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Es importante destacar que los gases que emiten los sistemas a combustión, provocan 200 intoxicaciones y 20 muertes anuales en Uruguay según datos del Ministerio de Salud Pública <sup>[3]</sup>.

Considerando entonces ambos factores, la composición de renovables en la matriz de generación eléctrica en Uruguay y la alta preponderancia de combustibles para la calefacción doméstica, se advierte que existe una gran oportunidad de reducción de emisiones si se estimula el cambio por sistemas eléctricos eficientes, en particular el uso de bombas de calor (aires acondicionados).

## DESARROLLO

El producto implementado identifica segmentos de clientes receptivos a campañas comerciales que promuevan la Descarbonización, incentivando el uso de climatización eléctrica eficiente.

En Uruguay hay familias que poseen aires acondicionados, pero que no lo usan en invierno y emplean en cambio otros medios de calefacción, típicamente estufa a supergas o leña. Una vez identificados estos clientes, se aplicarán campañas comerciales para estimular el uso del aire acondicionado ya instalado en el hogar.

Se diseñó e implementó una herramienta basada en el análisis de datos provenientes de la Infraestructura de Medición Avanzada de UTE y otras fuentes, con la finalidad de detectar la existencia y modos de uso de aires acondicionados en los hogares. La herramienta hace uso de Inteligencia Artificial con técnicas de Aprendizaje Automático, en su variante Aprendizaje Supervisado.

Para el diseño del modelo, se identificó un conjunto de parámetros relevantes y se realizó una detallada encuesta no anónima que respondieron 25.000 clientes de UTE. Se analizaron los datos de consumo anual de cada cliente (energía activa y reactiva), que llegan con detalle cuarto-horario, y también se incorporaron otras fuentes de información, como las temperaturas de la zona donde está ubicado el hogar. Con estos datos y con las respuestas de los clientes, fue posible realizar el entrenamiento del modelo de Inteligencia Artificial.

El sistema es capaz de asignar una probabilidad de pertenencia a cada una de las siguientes etiquetas o categorías de clientes:

Etiqueta	Porcentaje de predicciones correctas por etiqueta
«Usa el Aire Acondicionado»	82
«Usa el Aire Acondicionado en Invierno»	75
«Usa el Aire Acondicionado en Verano»	78

**Tabla 1.** Etiquetas o categorías que maneja el sistema.

Los porcentajes de aciertos<sup>(1)</sup> por etiqueta se consideran muy buenos para lo que puede obtenerse con estas técnicas de Inteligencia Artificial.

<sup>(1)</sup> Es un acierto cuando la predicción del sistema coincide con lo declarado por el encuestado.

## Algoritmo de Inteligencia Artificial

Para abordar el problema se exploraron distintos caminos utilizando técnicas de Aprendizaje Automático No Supervisado y Supervisado, y se continuó avanzando por las técnicas de Aprendizaje Supervisado dado que con las primeras no se obtuvieron los resultados esperados.

Al no contar con mediciones intrusivas del consumo desagregado de aires acondicionados y que los datos de consumo agregado de los hogares se registran con una frecuencia baja (curvas de consumos cuarto-horarias) se investigaron diferentes estrategias con el objetivo de tener un método que detecte la existencia y modos de uso de aires acondicionados en los hogares. En este sentido se realizaron encuestas no anónimas a clientes como mecanismo de obtener información para entrenar el algoritmo.

Luego de diferentes experimentos y análisis se descubrió que teniendo en cuenta la correlación de la energía media diaria de cada hogar durante más 6 meses y la temperatura media diaria de la zona dónde está ubicado el suministro, existen patrones que respondían a las siguientes etiquetas buscadas:

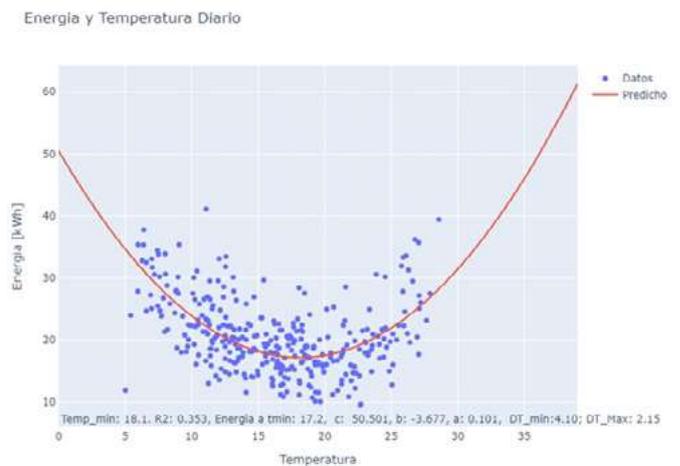
1. «Usa el Aire Acondicionado»
2. «Usa el Aire Acondicionado en Invierno»
3. «Usa el Aire Acondicionado en Verano»

Se buscaron las curvas de segundo grado que mejor ajusten al conjunto de datos de energía media diaria (activa, reactiva inductiva y capacitiva) en función de la temperatura media de la zona donde está ubicado el suministro.

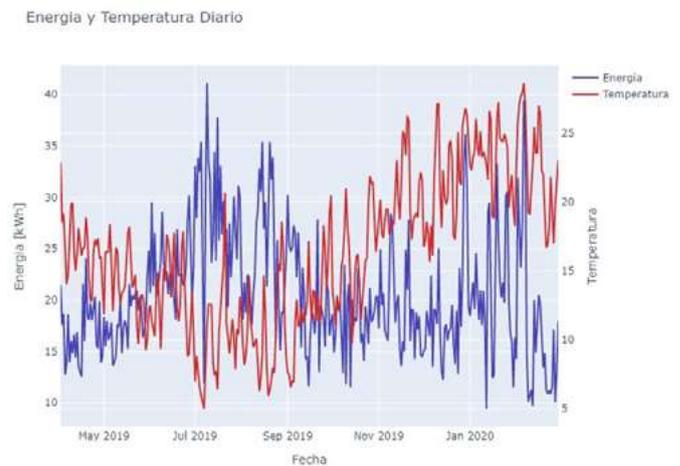
Para ello se transformó en un polinomio equivalente y se ajustó usando el estimador de Theil-Sen que es más robusto para mitigar los outliers.

A modo de ejemplo, en los siguientes gráficos se muestran los tres casos con sus etiquetas correspondiente a los datos de energía activa.

A)



B)

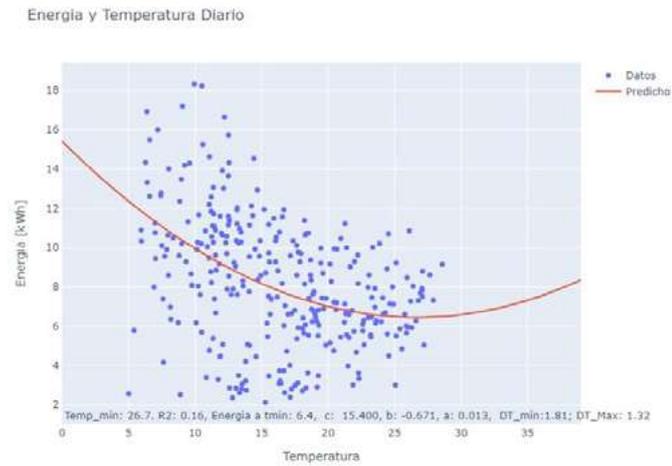


**Gráfico 2:** «Usa el Aire Acondicionado»

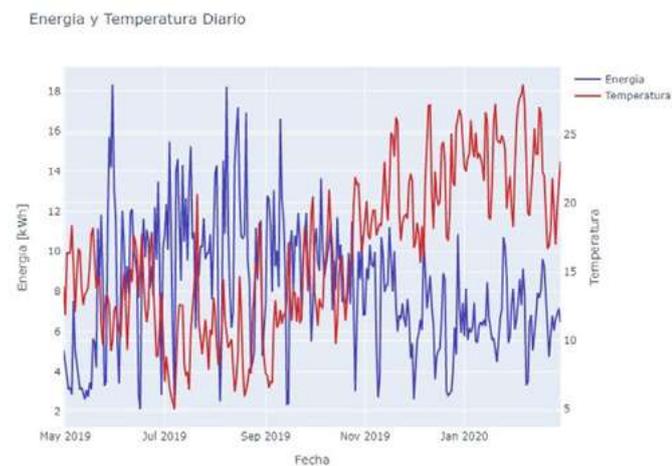
A) Datos de energía y temperatura diaria del suministro y polinomio equivalente ajustado con estimador de theil-sen.

B) Curva de consumo y de temperatura del suministro.

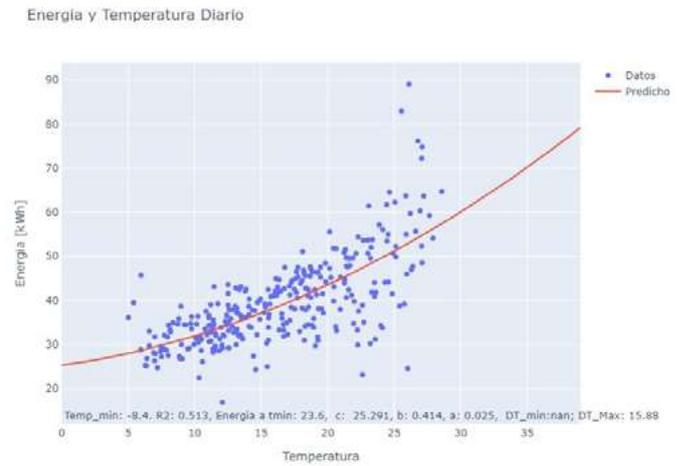
A)



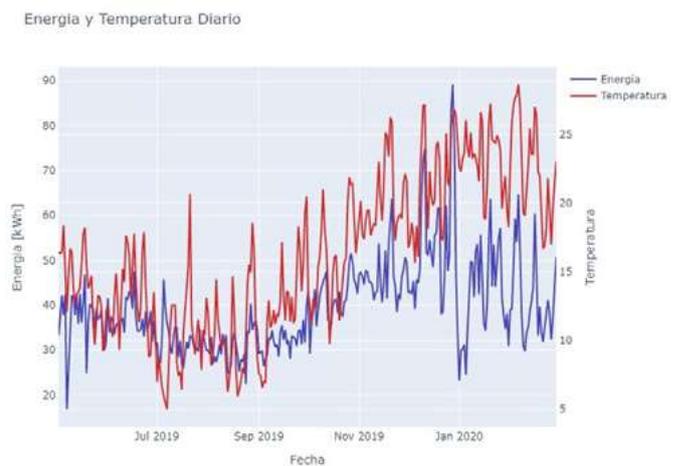
B)



A)



B)



**Gráfico 3:** «Usa el Aire Acondicionado en invierno»

A) Datos de energía y temperatura diaria del suministro y polinomio equivalente ajustado con estimador de theil-sen.

B) Curva de consumo y de temperatura del suministro.

**Gráfico 4:** «Usa el Aire Acondicionado en verano»

A) Datos de energía y temperatura diaria del suministro y polinomio equivalente ajustado con estimador de theil-sen.

B) Curva de consumo y de temperatura del suministro.

Algunas de las características que describen estos distintos tipos de consumos son:

- Energías medias diarias.
- Coeficientes de los polinomios de ajuste.
- Coeficientes de ajustes a los polinomios.
- Temperatura y Energía de los mínimos de las curvas.
- Coeficientes que definen donde se encuentran los baricentros de las nubes de datos.

Para separar cada etiqueta se utilizó el clasificador GradientBoostingClassifier.

Los datos de entrada del algoritmo son:

- Información de los clientes, en particular la ubicación del suministro para tomar los datos de temperaturas de la estación meteorológica más próxima.
- Telemedición: curvas de consumos cuarto-horarios de energía activa y reactiva. Estos datos se encuentran almacenados de manera distribuida en un cluster en una base HBASE.
- Datos de temperaturas diarias de estaciones meteorológicas del país.

## Industrialización

Se implementó la industrialización del sistema, es decir, la capacidad de aplicar el modelo y de realizar el análisis sobre grandes volúmenes de datos,

utilizando computación distribuida. Se realizó un programa en Python usando pyspark para poder procesar un gran volumen de datos de manera distribuida desde nuestras bases en HBASE, utilizando pyspark.ML

El sistema está diseñado para ser usado desde un navegador. El usuario proporciona la lista de clientes a ser estudiados, elige las etiquetas de interés y determina el período de tiempo que abarca el estudio.

A la salida, se obtiene un listado que también ofrece datos complementarios que faciliten el armado de las campañas comerciales como vías de contacto con el cliente, tarifa actual, históricos de consumo con discriminación horaria, etc.

## Trabajos actuales

Con la herramienta de detección de uso y modalidad de climatización eléctrica en producción, se está avanzando en técnicas de monitoreo de cargas no intrusivo (NILM, Non-Intrusive Load Monitoring). Se pretende continuar desarrollando algoritmos basados en información recolectada de dispositivos intrusivos instalados en aires acondicionados y otros electrodomésticos de interés para UTE en suministros residenciales. Este enfoque permitirá disponer de una base de datos etiquetada del uso de estos electrodomésticos, lo que facilitará la identificación de patrones y su predicción. Además, estos algoritmos permitirán cuantificar los consumos por usos finales de la energía para informar y asesorar a los clientes.

Asimismo, se está trabajando en el desarrollo de algoritmos para obtener la curva de carga de vehículos eléctricos a partir de la curva de carga de

todo el suministro de clientes residenciales. Estos nuevos algoritmos permitirán descomponer la curva de carga del suministro en consumos asociados al vehículo eléctrico y consumos tradicionales del sector residencial, posibilitando el análisis de proyección de demanda por sector. También al igual que para el caso de los aires acondicionados, teniendo la capacidad de identificar suministros con presencia de carga de vehículos eléctricos se pueden realizar acciones de marketing directo a usuarios de estos vehículos.

### Campañas y emisiones de CO2 evitadas

En un escenario a 4 años sobre un total de 135.200 hogares potenciales que cumplen con las premisas anteriores, las estimaciones son las indicadas en la **Tabla 2**.

Evolución de la campaña	Clientes que cambian	Toneladas CO2 evitadas / mes
Año 1 10%	13.524	7.327
Año 2 15%	18.257	9.891
Año 3 25%	25.864	14.013
Año 4 50%	38.797	21.019

**Tabla 2.** Toneladas de CO2 evitadas sobre 135.200 Hogares que tienen Aires Acondicionado pero que no lo usan en invierno.

En este caso, al final del año 4 se evitaría un total de 52.250 toneladas de CO2 en un solo mes de invierno.

Se muestran algunos datos y cálculos preliminares. La **Tabla 3** contiene los valores usados en los cálculos de emisiones.

Consumo miles de kcal/mes	kcal por kWh	Rendimiento AA en modo calefacción	AA consumo kWh/mes	Energía AA consumida en GWh	FE CO2 electricidad (t/GWh)	Toneladas CO2 AA /mes
245,31	860,42	380%	75,0	7,50275E-05	13	0,000975358

Consumo miles de kcal/mes	Poder calorífico GLP kcal/Kg	Rendimiento estufa con garrafa de 13kg	Estufa GLP consumo kg/mes	Energía GLP consumido en kcal/mes	1 kcal en TJ	Energía GLP consumido en TJ	FE CO2 GLP (kg/TJ)	Toneladas CO2 GLP/mes
245,31	10.910,00	55%	40,9	446018,18	4,1868E-09	0,0018674	63.100	0,117832241

Consumo miles de kcal/mes	Poder calorífico estufa leña abierta kcal/kg	Rendimiento estufa a leña abierta	Estufa leña abierta consumo kg/mes	Energía estufa leña abierta consumida en kcal/mes	1 kcal en TJ	Energía GLP consumido en TJ	FE CO2 estufa leña abierta (kg/TJ)	Toneladas CO2 estufa leña abierta/mes
245,31	2.700,00	15%	605,7	1635400,00	4,1868E-09	0,0068471	112.000	0,766874385

**Tabla 3.** Cifras relativas a la supresión de emisiones de CO2 para aire acondicionado, estufa a GLP y estufa a leña del tipo abierta.

La cantidad de 245,31 mil kilocalorías es la energía que se necesita para climatizar una habitación de 12 m<sup>2</sup> durante un mes, y se obtiene de un calculador público que ofrece el Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay en su sitio web <sup>[4]</sup>.

A partir de allí, aplicando los factores de emisión para cada uno de los energéticos <sup>[5]</sup> se obtiene el resultado indicado en la **Tabla 3**.

Para el cálculo de hogares candidatos al caso ejemplo «Tienen Aire Acondicionado, pero no lo usan en invierno», la cifra de 135.200 se obtiene de las siguientes premisas:

- De acuerdo a la encuesta del INE del año 2019, un 43% de los hogares posee aire acondicionado <sup>[6]</sup>.
- Trasladando ese porcentaje al total de los 1.379.965 suministros residenciales de UTE del año 2019 <sup>[7]</sup>, se llega a 587.996 clientes con aire acondicionado.
- En la encuesta realizada por el equipo en el marco del diseño y desarrollo del algoritmo, se obtuvo que un 23% declara tener aire acondicionado pero no usarlo en invierno. Aplicando ese porcentaje a la cifra anterior, se llega a los 135.200 potenciales.

Para el cálculo de las emisiones evitadas, tomamos como guía las respuestas obtenidas en la encuesta mencionada sobre cuáles son los principales medios de calefacción alternativos usados por los clientes que tienen aire, pero que no lo usan en in-

vierno. Obtenemos que un 29% usa estufa a supergas (GLP) y un 66% usa estufa a leña. Aplicando estos porcentajes a la cantidad de clientes captados y convertidos por la campaña en cada año, se multiplica por el factor de emisiones correspondiente (restando las emisiones asociadas al aire acondicionado) y se llega a las cifras en toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas en un solo mes de invierno.

## CONCLUSIONES

El producto identifica segmentos de clientes receptivos a campañas comerciales que promuevan la Descarbonización, incentivando el uso de climatización eléctrica eficiente.

El incentivo es la sustitución de energéticos de origen fósil y leña proveniente de la tala de árboles, estimulando el uso de aires acondicionados ya instalados en el hogar pero que no son usados para calefaccionar el ambiente y son solo usados en modo refrigeración en verano. También se pueden identificar hogares sin aire acondicionado y realizar campañas para fomentar y apoyar la adquisición de este equipamiento eléctrico eficiente.

El uso de esta herramienta combinando campañas comerciales con productos específicos y campañas educativas adecuadas, promueve un cambio cultural en la sociedad que derive en el uso de equipos eléctricos eficientes en detrimento de las alternativas contaminantes.

## REFERENCIAS

[1] [https://portal.ute.com.uy/sites/default/files/generico/UTE\\_EN\\_CIFRAS\\_22.pdf](https://portal.ute.com.uy/sites/default/files/generico/UTE_EN_CIFRAS_22.pdf)

[2] Véase Gates, B. (2021). How to avoid a climate disaster.

[3] Comunicado Ministerio de Salud Pública 17/07/2020, disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-salud-publica/comunicacion/comunicados/comunicado-monoxido-carbono>

[4] Calefacción de vivienda, disponible en <http://calculodeconsumo.dne.gub.uy/calefaccion-de-vivienda/>

Hipótesis tomadas y parámetros considerados en el cálculo, disponible en <http://calculodeconsumo.dne.gub.uy/hipotesis-de-calculo/>

[5] Balance Energético Nacional - Emisiones de CO2 por sector, disponible en <https://catalogodatos.gub.uy/dataset/miemi-emisiones-de-co2-por-sector>

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del sector Energía Año 2017 y su evolución en la serie 1990 – 2017, disponible en [https://observatorio.miem.gub.uy/obs/sites/default/files/documentos/emisiones\\_gei\\_sector\\_energia\\_y\\_evolucion\\_1990\\_-\\_2017\\_-\\_anexos.pdf](https://observatorio.miem.gub.uy/obs/sites/default/files/documentos/emisiones_gei_sector_energia_y_evolucion_1990_-_2017_-_anexos.pdf)

[6] <https://www5.ine.gub.uy/documents/Demograf%C3%ADayEESS/PDF/ECH/Bolet%C3%ADn%20t%C3%A9cnico/Bolet%C3%ADn%20T%C3%A9cnico%20Microdatos%20ECH2019.pdf>

[7] UTE en cifras, año 2019, disponible en <https://portal.ute.com.uy/sites/default/files/generico/UTE%20en%20Cifras%202019%20TRIPTICO%20%20al%202020-04-16.pdf>

# 59°RAE

REUNIÓN DE ALTOS EJECUTIVOS

Save the date



4 y 5 de diciembre  
The Grand Hotel – Punta del Este  
Uruguay



UruguayNatural  
Ministerio de Turismo