

DETERMINACIÓN DE EMISIONES GEI EN UNA MATRIZ ENERGÉTICA SUSTENTABLE MEDIANTE ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Estudio de caso en zonas áridas con alto riesgo hídrico

DETERMINATION OF GHG EMISSIONS IN A SUSTAINABLE ENERGY MATRIX THROUGH SCENARIO ANALYSIS

Case Study in arid zone with high hydric risk

PhD. Ramos Sanz, Alba Inés¹.

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas
(CONICET). Buenos Aires, República Argentina.

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa-CONICET). San
Juan, República Argentina.

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD)
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ)

RESUMEN: Se toma por Caso de estudio una Matriz Energética Sustentable, compuesta en un 85% por recursos energéticos renovables de origen hidroeléctrico, a fin de estimar las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq; GEI) por MWh de energía consumida y *Per Cápita*. Antecedentes indican que dicha matriz se abastece con frecuencia de una matriz convencional nacional. La prueba de hipótesis confirma este supuesto; la Matriz Energética Sustentable cubre la demanda energética en un 17% de las veces. Se determina el coeficiente de variación para realizar un análisis de escenarios, a fin de observar el comportamiento de las emisiones de CO₂eq/*Per Cápita* según la participación de la Matriz Energética Sustentable, en ocasiones en las cuales no cubre la demanda y debe proveerse con recursos fósiles del Sistema Interconectado Nacional. Se concluye que el nivel medio de emisiones GEI en un 83% de las ocasiones crece hasta cinco veces que el estimado por unidad de energía (0,10 CO₂eq/MWh) y hasta ocho veces por usuario (5,20 tnCO₂eq/*Per Cápita*). Esta conclusión alerta sobre los resultados

¹ Arquitecta egresada de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ; 2003)

Doctora en Arquitectura egresada de la Universidad de Mendoza (UM; 2013)

Máster in Business Administration (MBA) de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo; 2019)

Investigadora Científica Categoría Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET; 2016-actualidad)

Profesora Categoría Adjunto de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ; 2007-actualidad)

https://scholar.google.es/citations?view_op=new_articles&hl=es&imq=Alba+Ramos+Sanz#

<https://orcid.org/0000-0003-4069-4740>

contradictorios en la operación de las matrices energéticas, diversificadas en la búsqueda de una mayor sustentabilidad ambiental.

ABSTRACT: A Sustainable Energy Matrix, consisting of 85% renewable energy resources of hydroelectric origin, is taken as Case Study, in order to estimate the equivalent carbon dioxide emissions (CO₂eq, GHG) per MWh of energy consumed and Per Capita. Background indicates that said matrix is often supplied with a conventional national matrix. The hypothesis test confirms this assumption; Sustainable Matrix covers energy demand 17% of the time. The variation coefficient is determined to perform a scenario analysis, in order to observe the behavior of CO₂eq / Per Capita emissions according to the participation of the Sustainable Matrix, sometimes in which it does not cover the demand and must be provided with fossil resources from the National Interconnected System. It is concluded that the average level of GHG emissions in 83% of the occasions grows up to six times than the estimate per unit of energy (0.10 CO₂eq / MWh) and up to ten times per user (5.30 tnCO₂eq / Per Capita). This conclusion warns about the contradictory results in the operation of energy matrices, diversified in the search for greater environmental sustainability.

PALABRAS CLAVE: indicadores ambientales, suministro de energía, consumo de energía, balance energético.

KEY WORDS: environmental indicators, energy supply, energy consumption, energy balance.

INTRODUCCIÓN

El Dióxido de Carbono (CO₂) es un gas de efecto invernadero que se encuentra en forma natural en la atmósfera. Existe un consenso global de la comunidad científica por el cual se atribuyen los efectos del calentamiento global al incremento de los gases de efecto invernadero (GEI), de origen antropogénico. Una vez que el dióxido de carbono y otros gases en menor cantidad -monóxido de carbono, de metano, nitrógeno, etc.- son emitidos a la atmósfera, con el paso de los meses y hasta los 12 años se carbonizan conformando finalmente un gas diferente, que es el dióxido de carbono. Por esta razón es que las emisiones en su conjunto suelen denominarse como CO₂ *equivalentes*, ya que el final de su proceso se dirige a conformarse como moléculas de este gas.

El sistema de generación de energía contribuye en un 30% del total de las emisiones de GEI (Clemente C. y Naharro J.; 2009), procedentes de centrales térmicas que producen energía a partir de combustibles fósiles. Según fuentes de la Agencia Internacional de Energía (IEA; 2019) el 81% de la energía producida en el mundo en el año 2007, proviene de combustibles fósiles y se estima que para el año 2030 ese porcentaje descende al 70% del total.

Los consensos internacionales persiguen la disminución de las emisiones GEI al ambiente, mediante instrumentos de estandarización de la información compartida y metodologías comunes. Un organismo perteneciente a Naciones Unidas (UN; 2019), *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC; 2019) reúne a un grupo de especialistas en materia de cambio climático, asistiendo a la comunidad científica y en

general sobre problemáticas vinculadas al calentamiento global. El IPCC proporciona metodologías para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera en formato de documentos técnicos, con la finalidad de que las diferentes naciones adapten esta metodología a sus datos disponibles. Por otra parte, la Metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), a diferencia de la del IPCC que aplica el término de *carbón neutro* para las fuentes de energía renovables, reconoce que estas tienen un impacto ambiental cuantificable. Algunos países del mundo se han comprometido a proporcionar información ambiental a través de un documento anual mediante las Comunicaciones Nacionales en las cuales especifican la magnitud de sus emisiones de gases de efecto invernadero al ambiente. El último de los documentos presentados por Argentina pertenece al año 2015, denominado *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático* (Secretaría de Ambiente y desarrollo Sustentable de la Nación; 2019).

Según el IPCC (2019) la incertidumbre en la determinación de las emisiones de CO₂eq es debida en parte a la variabilidad de los recursos energéticos, pero el organismo no dispone de rangos de incertidumbre por defecto. En general, pocas naciones disponen de suficiente información de calidad para llevar a cabo estimaciones consistentes, por lo cual se procede a realizar cálculos sencillos con métodos determinísticos, poco confiables para proyecciones. La Matriz Energética de un país, por ejemplo, es una especie de fotografía de los recursos energéticos potenciales de los que dispone el mismo, pero la generación efectiva de energía es el flujo que se visibiliza mediante el Balance Energético, en el cual se ve reflejada la oferta energética en las diversas instancias -primaria y secundaria- y el consumo o demanda de cada sector.

Según datos estadísticos del Banco Mundial (2019), entre 1960 y 2014 las emisiones GEI *Per Cápita* anuales en Argentina se duplicaron, pasando de 2,40 tnCO₂eq a 4,70 tnCO₂eq. Con la finalidad de cumplir con los compromisos internacionales con el medio ambiente, la Argentina deberá reducir el empleo de los combustibles fósiles para la generación de energía, debido a los cuales emite actualmente unos 200 millones de tnCO₂eq/año² (Apud, E. *et al*; 2014) e incorporar fuentes de origen renovable a su matriz, aunque parte de esta transformación deberán llevarla a cabo individualmente los usuarios de energía mediante la autogeneración. El objetivo consiste en promover la generación de energía en base a recursos renovables. El *Plan de Acción de Energía y Cambio Climático* (2017) señala que en el año 2016 el 88,4% de la Oferta Energética Interna Total proviene de fuentes no renovables: en un 55,4% en gas natural y un 31,8% en petróleo. En referencia a la capacidad de generación de electricidad, el 61,2% de la potencia instalada corresponde a fuentes térmicas, seguidas por las hidroeléctricas con un 31,5% y las nucleares con un 5,2% y las renovables no convencionales (pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, solar, eólica, biomasa, biogás) con un 2,1%. Este compromiso ambiental conduce a una serie de políticas ambientales de promoción a la generación de energía mediante recursos renovables a partir de las cuales se llevan a cabo inversiones en centrales hidroeléctricas y solar fotovoltaicas.

La mayor diversificación de la Matriz Energética no atiende solamente a la disminución de los GEI, sino que contribuye a la disminución del Riesgo del sistema energético de un

² Este monto de emisiones constituye el 0,6% del total del Sector Energético Mundial (Apud, E. *et al*; 2014).

país; la incorporación de fuentes energéticas de diversos orígenes garantiza el suministro energético para una sociedad dada (Molina, J.; Martínez, V.; Rudnick, H.; 2011). Es razonable suponer que cuanto mayor dependencia exista de un solo tipo de recurso, mayor riesgo de suministro se corre si la fuente escasea, o no es facilitada por algún motivo. Estudios señalan que la variabilidad del recurso hídrico en las cuencas en zonas áridas es elevada; para el Caso a analizar en este trabajo se prevé para los años 2021-2030 una disminución de entre el 13% y el 30% en los caudales de la cuenca del Río San Juan (Boninsegna, J.; Villalba, R.; 2019), con lo cual se estima un impacto negativo en la generación de energía a partir de dicha fuente. Respecto de esta observación, en el presente trabajo se lleva a cabo un análisis de escenarios de generación de energía de una Matriz Energética Sustentable, la cual se compone en un 85% de fuentes hidroeléctricas. Se estima la vulnerabilidad de la misma, al verse afectado el recurso hídrico y presentarse en consecuencia diversos niveles de *hidraulicidad* en la cuenca de generación. De esta manera se observa la medida en la cual el suministro de energía comienza a alimentarse de fuentes de origen no renovable desde el Sistema Interconectado Nacional (SIN), en diversa proporción para cada escenario de hidraulicidad. Es posible notar que, en efecto, un suministro de energía proveniente de recursos renovables se caracteriza por menores emisiones de CO₂, en relación con lo que ocurre cuando el suministro se nutre desde el SIN cuya Matriz Energética se compone en un 88,4% de fuentes no renovables.

Según datos de la International Energy Agency (2019) a nivel mundial, la demanda energética creció un 3,2% en el período 2015-2016 alcanzando los 20.863 TWh. Este crecimiento interanual en los países miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) fue del 1,4%, mientras que los países no pertenecientes a la misma manifestaron un incremento del 4,8%. El 42% de este consumo mundial (8.684TWh) corresponde al sector industrial, seguido por un 27% (5.681TWh) originado en el sector residencial. En Argentina, con un total de 136 TWh de consumo de energía eléctrica, el 39% de la demanda corresponde al sector industrial, 34% al residencial, 26% al sector oficial y comercial y el 1% restante se distribuye entre transporte y agro (Ministerio de Energía y Minería; 2019). En la provincia de La Rioja y de San Juan, -sitio del presente análisis- el sector residencial origina la mayor demanda de energía eléctrica de la Argentina (Chévez, Martini y Discoli; 2017), con 4.026 kWh/año por persona. Esta demanda energética se explica parcialmente por la rigurosidad del Clima árido tanto en verano como en invierno y por la baja penetración de la red de gas natural en la ciudad. Se destaca la relevancia que tienen los sectores industriales y residenciales en la demanda energética a nivel mundial, nacional y provincial. Sin embargo, el sector industrial es inestimable, es decir que gran cantidad de establecimientos disponen de fuentes de autogeneración de energía que no son contabilizadas por las estadísticas oficiales. En ese sentido, el comportamiento energético del sector residencial es más claro de observar ya que, en Argentina, no existe gran difusión de fuentes renovables de generación de energía aplicadas a los hogares en forma masiva. Asimismo, es el sector residencial el más sensible a las acciones tendientes a la reducción del consumo energético, ya sea mediante el incremento de las tarifas, mediante la educación del usuario o bien mediante la mejora de la envolvente con estrategias pasivas.

En este estudio se espera determinar el impacto del consumo energético de los diferentes sectores, tomando por indicador las emisiones de GEI, en base a una Matriz Energética Sustentable, con fuentes de origen renovable. Los esfuerzos tendientes a reducir las emisiones GEI (Acuerdo de París, 2015) apuntan a la diversificación de las matrices

energéticas de los países del mundo, para reducir la proporción de recursos fósiles no renovables empleados en la obtención de energía. Se observa a continuación el desempeño de este tipo de matrices sustentables y sus proyecciones, vinculando las mismas con las emisiones GEI resultantes de la obtención de energía eléctrica y del consumo de la misma, por parte de cada uno de los sectores de la demanda.

METODOLOGÍA

En este trabajo se procede a determinar la variación anual del nivel de emisiones GEI debidas al consumo energético por unidad de energía ($TnCO_2eq/MWh \cdot año$) y por habitante ($TnCO_2eq/Per \text{ Cápita} \cdot año$) y para cada sector de consumo; industrial, residencial, comercial y otros. Los valores de emisiones resultantes no son determinísticos, se definen a partir de una reducida muestra plasmada en una distribución t-Student y se derivan de ella los rangos, sus valores medios y desviaciones estándar.

Mediante datos oficiales (MINEM; 2019 y EPSE; 2019) se define la composición de la Matriz Energética Sustentable y de la Matriz Energética Convencional Nacional, cuyo factor de emisiones se estima mediante un procedimiento definido por organismos internacionales y por lo tanto es oficialmente conocido. El Caso de Estudio ofrece un interés particular al tratarse de una Matriz Energética Sustentable definida en los términos que promulgan estados comprometidos con el control de emisiones GEI, como la OCDE, los países del G20, los que firmaron el Acuerdo de París y aquellos que integran paneles activos en organizaciones como Naciones Unidas. Estas organizaciones tienen por objetivo la diversificación de las Matrices Energéticas mediante fuentes de origen renovable. El Caso de Estudio seleccionado constituye un ejemplo de sustentabilidad en este sentido, dado que se compone en un 85% por fuentes renovables de origen hidroeléctrico. Sin embargo, este recurso hidroeléctrico es escaso ya que se inserta en un territorio de extrema aridez y escasas lluvias y nevadas y en consecuencia la *hidraulicidad* de la cuenca es variable año a año.

Respecto de lo mencionado previamente, datos oficiales (Ministerio de Minería y Energía de la Nación MINEM; 2019) revelan la variable productividad de energía por parte de una La Central Los Caracoles, una de las represas más importantes de la Matriz Energética Sustentable ya que contribuye al 35% de la potencia hidroeléctrica instalada. Con esta información se infiere que, al tratarse de un sistema interconectado, alimentado de la misma cuenca, en el resto de las represas de la Matriz Energética Sustentable esta situación se replica. Para confirmar este supuesto, se lleva a cabo una prueba de hipótesis mediante un t-Test y se compara con el valor crítico t_c . Una vez que se estiman los valores en la región de aceptación o de rechazo de la hipótesis, se determina el Riesgo asociado a la generación hidroeléctrica en la Matriz Energética Sustentable, mediante el coeficiente de variación (CV). Infiriendo los resultados del coeficiente de variación del caso Los Caracoles sobre la totalidad de las represas de la Matriz Energética Sustentable y dejando fijas las variables de generación de energía solar y térmica, se lleva a cabo un Análisis de Sensibilidad mediante Escenarios sobre la variable crítica de generación hidroeléctrica. Se plantean tres escenarios según el nivel de hidraulicidad (bajo, medio y alto) de la cuenca del Río San Juan, estimado por datos oficiales citados previamente. Los escenarios plantean balances energéticos, cuyos déficits deben ser compensados por el Sistema

Interconectado Nacional (SIN), cuyo factor de emisión de la Matriz Convencional es superior al factor de emisión de la Matriz Energética Sustentable, definido en 0,38 tnCO₂eq/MWh.

El consumo energético dentro de los límites geo-políticos de la Provincia de San Juan se determina recurriendo a datos de un solo año, complementado con datos históricos. En el primer caso, estos datos son útiles para conocer la demanda energética relativa intersectorial. A partir de información transversal provista por DIES (2014) se determina el consumo energético absoluto y relativo (%) del año 2011 para los sectores económicos Residencial, Industrial, Comercial, Oficial, Riego y Servicios. Se complementa esta información con datos registrados en un período longitudinal de 19 años, comprendido entre 1995-2014, proporcionados por Chévez, P; Martini, I; Díscoli, C. (2017). A partir de datos poblacionales (INDEC; 2019) se estiman los consumos *Per Cápita* y se las consecuentes emisiones GEI, definidas previamente con el CV para cada Escenario. Los resultados se comparan con valores de emisiones normalizadas por Ferraro, Gareis y Zulaica (2013) para el territorio argentino. Dichos valores, se proyectan en una barra que representa en colores la concentración de CO₂eq/*PerCápita* y año, desde el color verde (menores emisiones GEI) hacia el rojo (mayores emisiones GEI). En esta barra es posible caracterizar el efecto sobre las emisiones GEI de la dispersión de la Matriz Energética Sustentable analizada, considerando *ceteris paribus* las demás variables, como el consumo energético. Posteriormente se procede a comparar estos resultados de consumo energético y emisiones GEI locales y nacionales -en una suerte de *benchmarking*- con los valores *Per Cápita* de otros países del mundo, recurriendo a datos estadísticos provistos por el Banco Mundial (2019).

Descripción de las Matrices Energéticas: Sustentable y Convencional

Para Argentina el 93% de la Oferta Total de Energía Primaria (OTEP³) es producida con recursos propios, principalmente gas natural y petróleo, señalando una tendencia hacia la autonomía energética, marcada por fuerte producción nacional de energéticos no renovables. Las importaciones de energía nuclear, petróleo y gas se iniciaron en el año 2010, señalando un déficit energético negativo del 7%, como puede observarse en la Fig.1, en color rojo. Entre los recursos que se importan se encuentran el Gas Natural, el Petróleo y la Energía Nuclear. Simultáneamente se registran exportaciones de Petróleo, en mayor proporción. La fuente primaria más utilizada es el gas natural, del cual el país dispone en forma abundante, ubicándose en orden de jerarquía como el tercer país del mundo con mayor disponibilidad de este recurso. En efecto, el 45% de la oferta de energía secundaria nacional se compone de gas distribuido.

³ La Oferta Total de Energía Primaria (OTEP) es medido en Miles de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP) alcanzando los 84.000 MTEP.

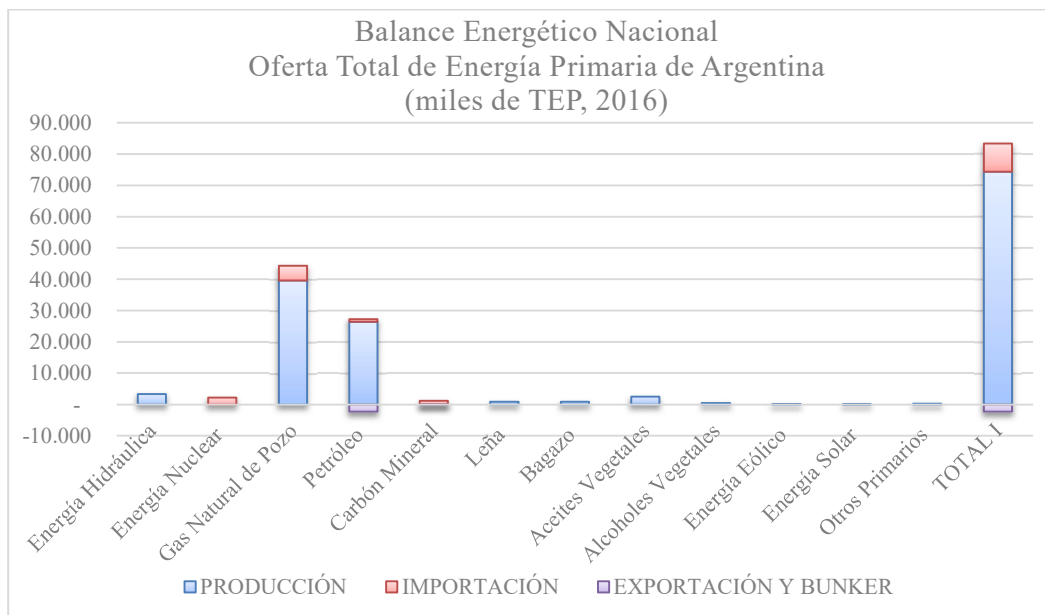


Fig 1. Balance Energético Nacional. Oferta Total de Energía Primaria en Argentina, en el año 2016. Fuente: Ministerio de Minería y Energía de la Nación (2019).

Según datos del Ministerio de Energía y Minería de la Nación (MINEM; 2019) la potencia instalada de la matriz eléctrica total experimentó un crecimiento del 127% en el período 1992-2017. Según la información provista, actualmente el 33% de la matriz energética nacional se compone por fuentes primarias de origen hidroeléctrico. Sin embargo, en el Balance Energético Nacional 2016 (Figura 1) se observa la oferta de energía por tipo de recurso, notándose un alcance del 4% del total de energía hidráulica en el total de energía primaria producida en el país. La Matriz energética constituye claramente el potencial de generación *-potencia instalada-* de energía que tiene un país, mientras que el Balance refleja el tipo de energía que *efectivamente* se produjo y se consumió en un período dado.

Según el Departamento de Información Económica y Social (DIES; en Frank *et al*; 2016) -en línea con la tendencia nacional- el consumo de energía en la Provincia de San Juan se incrementa cada año entre un 1% y un 4%. En San Juan, existe una elevada participación en renovables la cual comprende el 85% de su Matriz Energética en energía de origen hidroeléctrico, un 8,4% solar y un 5,8% térmica (gas natural y gasoil). La generación de energía hidroeléctrica es provista por un Sistema de siete Represas Interconectadas; Caracoles, El Horcajo, Tambolar, Punta Negra, Quebrada de Ullum, Ullum I-II La Olla y Cuesta del Viento. Dichas centrales se ubican de manera escalonada a diversa altura y distancia, desde el nacimiento del Río San Juan. La Matriz Energética Sustentable dispone de una capacidad instalada de 220 Miles de TEP, para abastecer una demanda energética local promedio de 161 Miles de TEP.

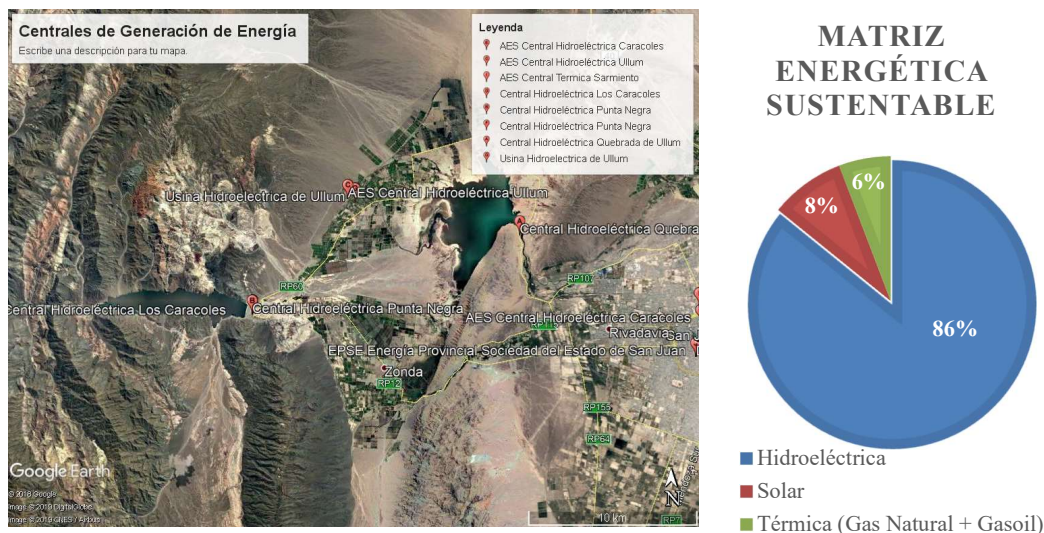


Fig 2. Imagen Satelital del Sistema Interconectado de Represas Ullum. Fuente: US Dept of State Geographer (2018) *Google Earth Pro*.

Fig 3. Diagrama de torta de la Matriz Energética Sustentable en base a Frank, Alción *et al* (2016) y AES (2019).

Prueba de Hipótesis

Existen escasos datos oficiales relacionados a la productividad de las represas hidroeléctricas comprendidas en el caso de estudio. Se presenta a continuación un registro de la generación de energía hidroeléctrica en la Represa Los Caracoles (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico SA; CAMESA, *Informes mensuales* 2009-2014), desde el año 2009 en el cual comenzó a producir y cuyo trabajo representa el 35% de la energía total obtenida en la provincia mediante la explotación de este recurso renovable.

Represa Hidroeléctrica Los Caracoles (Base de Regresión)		
Año	% del Potencial	MTEP
2009	60%	36,7
2010	95%	58,5
2011	7%	4,1
2012	2%	1,2
2013	4%	2,3
2014	10%	6,1
PROMEDIO		18,2
DESVEST (+/-)		23,9

Tabla 1. Datos históricos de generación de energía en la Represa Los Caracoles. Fuente: Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico SA (CAMESA) *Informes mensuales* 2009-2014 (2019, en Wikipedia).

En un período de seis años de observación, la potencia instalada se alcanza en un 17% de las oportunidades; la generación de energía hidroeléctrica permanece por debajo de la potencialidad en un 83% de las veces, siendo en cuatro años consecutivos de una productividad menor al 10% del potencial.

Con esta evidencia se plantea una prueba de hipótesis a fin de determinar si es posible que la Matriz Energética Sustentable de estudio genere energía *por debajo* de los valores teóricos cuyo potencial de generación alcanza los 182 MTEP/año de origen hidroeléctrico. Utilizando como antecedente la muestra de la Represa Hidroeléctrica Los Caracoles en el período de seis años (Tabla 1);

$H_0: \mu > 182 \text{ MTEP/año}$	$H_1: \mu < 182 \text{ MTEP/año}$
-----------------------------------	-----------------------------------

Debido a que las observaciones son $n < 30$, se recurre al empleo de un t-Test, propia de una Distribución t-Student;

- 1- Error tipo I $\alpha = 0.01$ (Una cola); confiabilidad 99%
- 2- Valor Crítico $t_c = 2.015$ para $\alpha = 0.05$ y 5 grados de libertad; 5-1.

$$\text{Error Estándar} \quad EE(\sigma) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = 97.551 \text{ MWh/año} \quad (1)$$

$$\text{Estadístico } t \quad t = \frac{(x - \mu)}{\frac{s}{\sqrt{n}}} = 5,61 \quad (2)$$

Dado que $5,61 (t) > 3.3649(t_c)$ se rechaza H_0 . Esta prueba de hipótesis permite realizar inferencias sobre la población de estudio. Puede decirse que existe suficiente evidencia empírica para inferir que la generación de energía hidroeléctrica en el resto de las represas del sistema se encuentra por debajo del potencial.

Riesgo de la Matriz Energética Sustentable asociado a la Variabilidad del recurso hídrico

Los datos de generación de energía hidroeléctrica registrados en Tabla 1 señalan un riesgo asociado a la disponibilidad del recurso. Para estimar la tasa de variabilidad del mismo se define un coeficiente de variación (Cv);

$$\text{Coeficiente de Variación} \quad Cv = \frac{\sigma}{\bar{X}} = 1,2 \quad (3)$$

$$\text{Rango de Variación} \quad X * (1 - Cv) \leq E \text{ (MWh)} \leq X * (1 + Cv) \quad (4)$$

Se puede inferir que los factores hídrico-ambientales que afectan a la generación de energía hidroeléctrica en Los Caracoles afectan también a las demás represas del área considerada al tratarse de un sistema que se nutre de la misma Cuenca del Río San Juan:

en la Tabla 2 se determinan los Rangos de variación de generación de energía para cada represa, y sus montos en MTEP;

	Rango de Variación	Los Caracoles	Ullum I-II La Olla	Quebrada de Ullum	Cuesta del Viento	Punta Negra	Horcajo	Tambolar
<i>Confiabilidad</i>		67%	68%	68%	68%	68%	68%	68%
MTEP+CV	$X*1+CV$	42,1	13,9	7,8	1,7	17,7	20,3	20,3
Media	X	18,2	6,0	3,4	0,7	7,6	8,8	8,8
MTEP-CV	$X*1-CV$	5,7	1,9	1,1	0,2	2,4	2,8	2,8
<i>Confiabilidad</i>		9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%

Tabla 2. Rangos de generación de energía posible para cada Central hidroeléctrica (MTEP), a partir del Coeficiente de Variación.

Puede observarse que la generación de energía supera el 9% del potencial en la mayoría de las veces, pero no será mayor al 68% del mismo, sino una vez cada seis años con un 17% de probabilidad. A cada valor de posición en el rango – máxima, media y mínima- le corresponde un *Escenario I, II y III*, respectivamente. Los Escenarios asisten a identificar situaciones ambientales de *alta hidraulicidad* (Escenario I), *media Hidraulicidad* (Escenario II) y *muy baja Hidraulicidad* (Escenario III). Cada escenario señala las cantidades de energía producida por la central, y el diferencial oferta-demanda del total del Balance Energético.

MATRIZ ENERGETICA	Fuente de Energía	Central	Capacidad Instalada	Escenario I Alta Hidraulicidad	Escenario II Media Hidraulicidad	Escenario III Baja Hidraulicidad
			[MWh/año]			
85,8%	Hidro	Ullum I-II La Olla	235.000	160.729	69.403	21.923
		Quebrada de Ullum	132.000	90.282	38.984	12.314
		Cuesta del Viento	28.000	19.151	8.269	1.848
		Caracoles	730.000	487.942	210.667	66.609
		Tambolar	345.000	235.964	101.890	32.184
		Punta Negra	300.000	180.000	88.600	27.986
		El Horcajo	345.000	235.964	101.890	32.184
8,4%	Solar	San Juan	11.000	11.000	11.000	11.000

		Cañada Onda I y II	13.500	13.500	13.500	13.500
		Parque Solar Ullum	38.000	38.000	38.000	38.000
		Las Lomitas	4.800	4.800	4.800	4.800
5,8%	Térmica	Sarmiento	372.000	372.000	372.000	372.000
OFERTA TOTAL			2.554.300	1.849.333	1.059.003	634.348
CONSUMO PROMEDIO TOTAL			1.871.222	1.871.222	1.871.222	1.871.222
DIFERENCIAL y DÉFICIT			683.078	-21.889	-812.219	-1.236.874

Tabla 3. Matriz Energética y Balance de Energía para tres Escenarios posibles. Fuente: Elaboración propia.

Estimación de las Emisiones de Dióxido de Carbono Equivalente

Se utilizan los Factores Estándar de Emisión de CO₂eq para la generación de energía eléctrica mediante la quema de combustibles fósiles (Tabla 4), considerando los recursos según unidades de volumen (gas natural) o peso. Con el fin cuantificar las emisiones frecuentemente consideradas *neutras*, como las producidas por las fuentes de energía solar, eólica e hidroeléctrica, y visibilizar el impacto de las mismas -aunque sea relativamente despreciable-, se recurre al empleo de los Factores Estándar proporcionados en la Metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). El Factor de Emisión para la *generación* de energía eléctrica mediante energía térmica, ha sido estimado en una media igual a 0,53 tnCO₂eq/MWh año (MINEM, 2019). El factor de emisiones empleado en este apartado para cuantificar las emisiones GEI *por consumo* de energía secundaria que ingresa desde el Sistema Interconectado Nacional para suplir los diferenciales en la oferta para cada escenario, es de 0,38 tnCO₂eq/MWh. Este último es el factor que corresponde a la energía que cubre al Déficit, para los tres escenarios estimados en la Tabla 3.

Unidades	Recurso utilizado	Factor Estándar de Emisión (tnCO ₂ eq)	
		Convencional	Análisis del Ciclo de Vida
MWh	Solar Fotovoltaica	0,000	0,035
	Eólica	0,000	0,007
	Hidroeléctrica	0,000	0,020
dam ³	Gas Natural	1,936	-
tn	Carbón Mineral	2,441	-
	Fuel Oil	3,127	-
	*Factor de emisión por quema de combustibles fósiles, por unidad de energía generada	0,530	-

MWh	*Factor de emisión nacional por unidad de energía secundaria consumida	0,380	-
-----	--	-------	---

Tabla 4. Factores de Emisión por recurso utilizado para generar energía primaria. Fuente: Datos Estadísticos (MINEM; 2019)

RESULTADOS

Indicadores Ambientales: Factores de Emisiones GEI

A medida que se pronuncia una menor *hidraulicidad* en el caudal del Río San Juan, la demanda local depende en mayor medida del Sistema Interconectado Nacional, con lo cual se incrementa el valor promedio de su Factor de Emisiones GEI, al provenir de una Matriz Energética Convencional con gran proporción (67%) de fuentes no renovables. Puede observarse en Tabla 5 que el Factor de Emisión varía en función de la disponibilidad de cada recurso.

FACTORES DE EMISIÓN GEI								
Recurso	Potencial		Escenario I Generación Máxima (MWh/año)		Escenario II Generación Media (MWh/año)		Escenario III Generación Mínima (MWh/año)	
Solar FV	858	0,34%	858	0,36%	858	0,16%	858	0,13%
Hidroeléctrica	50.760	20,40 %	33.841	14,09%	14.873	2,85%	4.681	0,70%
GasOil	197.160	79,25 %	197.160	82,09%	197.160	37,80%	197.160	29,31%
Gas Natural		0,00%	8.318	3,46%	308.643	59,18%	470.012	69,87%
TOTAL	248.778	100,00 %	240.176	100,00%	521.533	100,00 %	672.711	100,00%
Factor (TnCO ₂ eq/MWh)	0,10		0,13		0,49		1,06	

Tabla 5. Factores de Emisión para consumo de energía en cada Escenario. Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse que el Escenario I, cuya estimación es del 95% de la Potencia Instalada de generación de energía, presenta muy bajos niveles de emisiones GEI, en comparación a los otros dos escenarios. Como se ha mencionado previamente, esta *línea verde* se ha presentado una vez cada seis años, con una probabilidad del 17%. El escenario opuesto (III) se ha construido en base a los valores máximos extremos del rango superior, y por lo cual constituye precisamente valores posibles pero cuya probabilidad se asemeja a los extremos inferiores (Escenario I). Por ello cabe enfocarse principalmente en el Escenario II, como un valor medio para un diagnóstico más factible.

Consumo energético y Emisiones GEI Sectoriales

Mediante datos oficiales (Departamento de Información Económica y Social, DIES; 2014) se caracteriza el consumo energético de los sectores económicos Residencial (44%), Industrial (36%), Comercial (7%), Oficial (5%), Riego (4%), Alumbrado Público (3%), Servicios Sanitarios (1%). Cabe hacer una observación en cuanto a la participación del Sector Riego: este porcentaje es relativamente bajo, para pertenecer a una zona árida cuya fuente de riego se obtiene mediante bombeo desde napas subterráneas. A nivel nacional estas participaciones son diferentes en particular en el sector de Transporte (29%), no contemplado a nivel provincial. En el país el consumo energético en el sector residencial (27%) e industrial (24%) se ha visto afectado a lo largo de su historia por una progresiva desindustrialización nacional, una mayor autonomía energética de las industrias hacia la autogeneración, y una producción marcada por el consumo de gas. En San Juan, casi la mitad de la energía que se produce se destina exclusivamente al sector residencial.

En el caso del sector Industrial, los consumos energéticos están en función de variables económicas (macro y micro) y tecnológicas, pero en el caso del sector Residencial, los consumos dependen principalmente de las características urbanas, del parque edilicio, la interacción de las unidades habitacionales frente al clima y los hábitos de los usuarios. En la Fig.4 se observa el impacto que tienen en las emisiones GEI locales los sectores de mayor consumo energético Residencial (44%) e Industrial (36%), en cualquiera de los tres escenarios. En estos sectores el potencial de reducción del consumo energético es fundamental para disminuir la contaminación ambiental.

La rigurosidad del clima árido de gran amplitud térmica en el cual se halla la Matriz Energética Sustentable no solo explica parcialmente la variabilidad en la generación hidroeléctrica sino también la creciente demanda energética del sector residencial en acondicionamiento térmico. Estudios señalan (Frank, A; 2019) que la demanda energética del sector Residencial, particularmente de edificios en altura localizados en la Provincia de San Juan, se vincula principalmente al empleo de equipos de acondicionamiento térmico (61%) y otros artefactos de uso cotidiano (37%) como heladeras, lavarropas, etc. Esta información indica que una persona por año podría generar en promedio 1 tn CO₂eq *solamente* en el uso de artefactos de aire acondicionado.

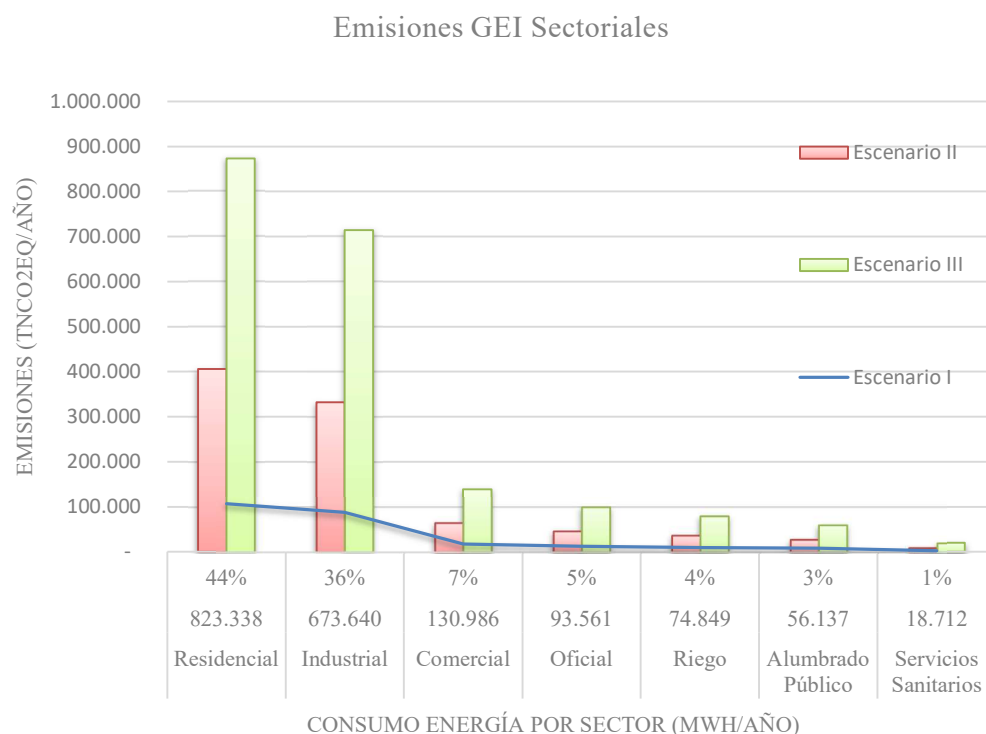


Fig 4. Emisiones GEI derivadas de los consumos energéticos por sector, para cada escenario y año. Fuente: Elaboración propia en base a datos estadísticos de consumo energético sectorial (DIES, 2014).

Indicadores Ambientales: Emisiones GEI Per Cápita

Considerando una población local de 681.023 personas en la zona de estudio (INDEC; 2019), se determina que el consumo energético *Per Cápita* medio para el período transversal (año 2011) alcanza los 2,75 MWh/año. Este consumo no se aleja demasiado del promedio nacional, igual a 3,11 MWh por persona y año. Chévez, Martini y Díscoli (2017) en su estudio longitudinal de 19 años (1995-2014) señalan que la población de estudio presenta consumos *Per Cápita* mayores a los estimados aquí para el año 2011, con 4 MWh/año. Esta diferencia encuentra su razón en variaciones en la demanda; en el caso de Chévez *et al* (2017) se halla una demanda de energía superior en el período 1995-2014 que en caso registrado por los organismos oficiales en el período 2011 (en Frank, Alción *et al*; 2016 y AES; 2019). Considerando este antecedente y dada su extensión temporal, se estiman los factores de emisión en cada escenario para la población de estudio y para el enfoque longitudinal (1995-2014) y seccional (2011);

EMISIONES HISTÓRICAS GEI / ENERGÍA CONSUMIDA <i>PER CÁPITA</i> [TnCO ₂ eq/pers*año] (1995-2014)		
ESCENARIO I	ESCENARIO II	ESCENARIO III
0,52	2,00	4,30
0,36	1,40	2,90
EMISIONES GEI POR ENERGÍA CONSUMIDA <i>PER CÁPITA</i> [TnCO ₂ eq/pers*año]		

Tabla 6. Emisiones de CO₂eq para cada Escenario, a partir del consumo energético medio anual. Fuente: Elaboración propia con datos de consumo energético provisto por Chévez, Martini y Díscoli (2017) y el Departamento de Información Económica y Social (DIES; en Frank *et al*; 2016).

En el Escenario II se cuadriplican las emisiones *Per Cápita*, respecto de las estimadas en el Escenario I, el más similar -95%- al potencial de generación de la Matriz Energética Sustentable. En un Escenario III con muy baja hidráulicidad en el caudal, las emisiones *Per Cápita* son ocho veces superiores a las esperadas, en base al potencial de la Matriz Energética Sustentable, con igual consumo energético.

Respecto de análisis determinísticos previos realizados sobre la Matriz Energética Sustentable analizada, se cita el trabajo de Frank, A. *et al* (2016) el cual señala una emisión *Per Cápita* igual a 0,10 tnCO₂eq/MWh año, correspondiente a un 100% de generación de energía hidroeléctrica potencial. Este valor, multiplicado por los 4 MWh de consumo energético medio anual *Per Cápita* establece emisiones GEI por 0,40 tnCO₂eq. El resultado es similar al observado en el Escenario I, con un enfoque determinístico basado en la generación potencial de la Matriz Energética Sustentable (Ver Tabla 3). Al introducir el riesgo asociado a la variabilidad de la hidráulicidad del Río San Juan, el parámetro de emisiones GEI *Per Cápita* se aleja significativamente del valor esperado, resultando ocho veces la emisión teórica, estimada en base a la visión determinística y sin riesgo de la generación de energía a partir de la potencia instalada. El Escenario I se manifiesta con un 17% de probabilidad, mientras que el restante 83% de las ocasiones (años) las emisiones GEI son superiores a 0,52 TnCO₂eq *Per Cápita*.

Considerando los datos de consumo energético relativo de cada sector económico, en San Juan y disponiendo de una Matriz Energética Sustentable, las emisiones GEI *Per Cápita* para el Sector Residencial pueden alcanzar en el peor escenario hasta 1,90 tnCO₂eq/MWh año, siendo 1,16 tnCO₂eq/MWh año las emisiones debidas al empleo de equipos de aire acondicionado (Frank: 2019). En este sentido, en el peor escenario, el 29% de las emisiones GEI originadas en los límites geopolíticos de San Juan se deben al empleo de estos artefactos de acondicionamiento térmico, a pesar de la penetración de gas natural en el sector edilicio capitalino analizado por la autora. Se puede inferir que en el sector residencial de zonas semi-rurales y rurales, ante la baja penetración de las redes de distribución de gas natural, este consumo energético en acondicionamiento térmico sea mayor, así como las emisiones GEI.

Etiquetado de Emisiones GEI Per Cápita

En la Fig. 5 se observa la representación gráfica de los niveles de Emisiones GEI, producto del consumo anual de energía eléctrica *Per Cápita* medido en tnCO₂eq. Ferraro, Gareis y Zulaica (2013) proporcionan *estándares nacionales* de emisiones anuales que van desde 0,08 hasta 2,03 tnCO₂eq *Per Cápita*. Los valores de estos estándares se obtienen a partir del Factor de Emisión para consumo, en base a la Matriz Energética Nacional (2010), estimado en 0,38 tnCO₂eq/MWh. Estos estándares se restringen a los resultados de estudios realizados en la Argentina y se plasman en este caso como lo han

realizado varios autores previamente, en una gráfica en la cual uno de los extremos es de color verde, y el extremo opuesto es rojo. El color verde (hacia el valor 0,08) señala un mejor desempeño ambiental por consumo por persona al indicar emisiones GEI relativamente bajas. En el caso extremo, el color rojo (hacia el valor 2,03) indica mayores emisiones GEI y un desempeño ambiental negativo. Esta gráfica en colores se aplica a gran diversidad de casos y productos y se cita como indicativo con la finalidad de observar el grado de desplazamiento de las emisiones GEI *Per Cápita* consecuentes con dos variables; el consumo de energía eléctrica por un lado y la variabilidad de la composición de los recursos con los cuales se obtiene esa energía. Esta representación cromática permite comparar la dispersión gráfica de las emisiones GEI de la Matriz Energética Nacional (2010, a color) y la dispersión gráfica de la Matriz Energética Sustentable (1995-2014, sin relleno) al ser analizada bajo la perspectiva de los Escenarios I, II y III.

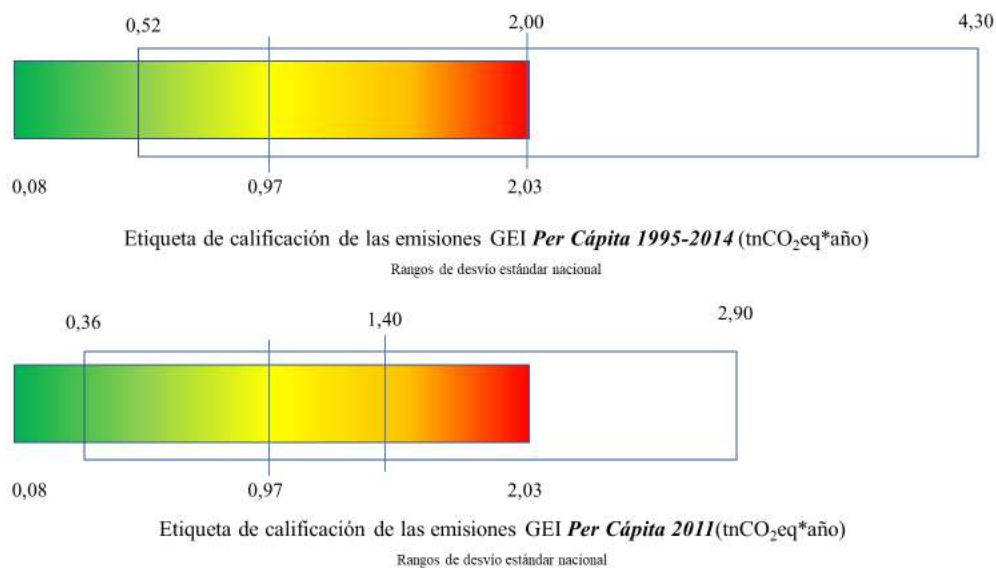


Fig 5. Etiqueta de Emisiones *Per Cápita* de GEI en tnCO₂eq*año para periodos longitudinales (1995-2014) y transversales (2011) de consumo de energía eléctrica en San Juan. Fuente: Elaboración propia en base a estándares nacionales proporcionados por Ferraro, Gareis y Zulaica (2013).

Los rangos obtenidos en este trabajo mediante el análisis de sensibilidad utilizando escenarios optimistas, medios y pesimistas se presentan en un rectángulo sin relleno, plasmado sobre la gráfica a colores. Se considera tanto el período transversal de consumo de energía eléctrica (2011) como registro histórico longitudinal de 19 años (1995-2014). En ambos casos, las emisiones GEI *Per Cápita* de la Matriz Energética Sustentable local sobrepasan los estándares nacionales, extendiéndose hasta superar los valores máximos de la gráfica (2,03 tnCO₂eq/pers*año). El rango señala que es posible que en algunos años (1 cada seis) las emisiones GEI se ubiquen hacia la izquierda (verde), entre los 0,36 y 0,52 tnCO₂eq/pers*año. Sin embargo, el valor de emisiones GEI *Per Cápita* del Escenario II -el más probable- se localiza al extremo rojo de las emisiones a nivel nacional. Puede observarse que, a nivel nacional, San Juan -aun disponiendo de una Matriz Energética Sustentable-, podría generar emisiones GEI superiores a las observadas

en la Matriz Energética Nacional, cuya mayor proporción corresponde a fuentes no renovables.

Benchmarking de Emisiones GEI Per Cápita en otros países del Mundo

Los valores de las emisiones GEI van en concordancia con el nivel de desarrollo económico del país. De esta manera, según datos estadísticos del Banco Mundial (2019), las naciones cuyos ciudadanos presentan ingresos económicos bajos, exhiben un promedio de 0,30 tnCO₂eq/pers*año, aquellos con ingresos medianos 3,90 tnCO₂eq/pers*año; los que disponen de ingresos medios-altos 6,60 tnCO₂eq/pers*año, y los ciudadanos con ingresos altos 10,70 tnCO₂eq/pers*año. En la Fig.6 se destaca el elevado nivel de emisiones que presentan países como Arabia Saudita (19,52 tnCO₂eq/pers*año), seguido por EEUU (16,49 tnCO₂eq/pers*año) y Canadá (15,11 tnCO₂eq/pers*año).

En Argentina hasta el 29% de la Matriz Energética se compone de fuentes hidroeléctricas, en Brasil el 61%, Chile (31,7%), Bolivia (28,9%), Paraguay (100%), Uruguay (60%). En el país solo el 10% del total de la energía final consumida proviene de fuentes de origen renovable (solar y eólica). Este valor es relativamente inferior en comparación a los demás países limítrofes de la Región, como Chile (24%), Uruguay (58%), Paraguay (62%), Brasil (44%) y Bolivia (17,5%). Puede observarse que, a pesar de disponer de recursos similares entre países limítrofes, Argentina contiene menor porcentaje de fuentes no convencionales (hidro y renovables) en su Matriz Energética que los demás países de la Región e igual acceso a la electricidad en la población (superior al 90% en todos los casos).

La Argentina se ubica (año 2014) entre los países con menores emisiones GEI (promedio ponderado), con 4,74 tnCO₂eq/pers*año, en línea con la media mundial, igual a 5 tnCO₂eq/pers*año. Junto con Chile y Venezuela, este valor de emisiones GEI *Per Cápita* es uno de los más altos de América Latina, región cuyo promedio de emisiones es de 3,10 tnCO₂eq/pers*año. Los países miembros de la OCDE⁴ los cuales se han comprometido en mantener y en algunos casos -como Francia y Polonia- reducir sus emisiones, alcanzan las 9,50 tnCO₂eq/pers*año. Este valor triplica las emisiones GEI de América Latina y duplica el valor de las emisiones en la Matriz Energética Sustentable de análisis.

⁴ Agrupa a 36 países, cuya extensa lista puede consultarse en diversos sitios de internet. De América Latina, Chile y México integran parte de esta organización en la actualidad.

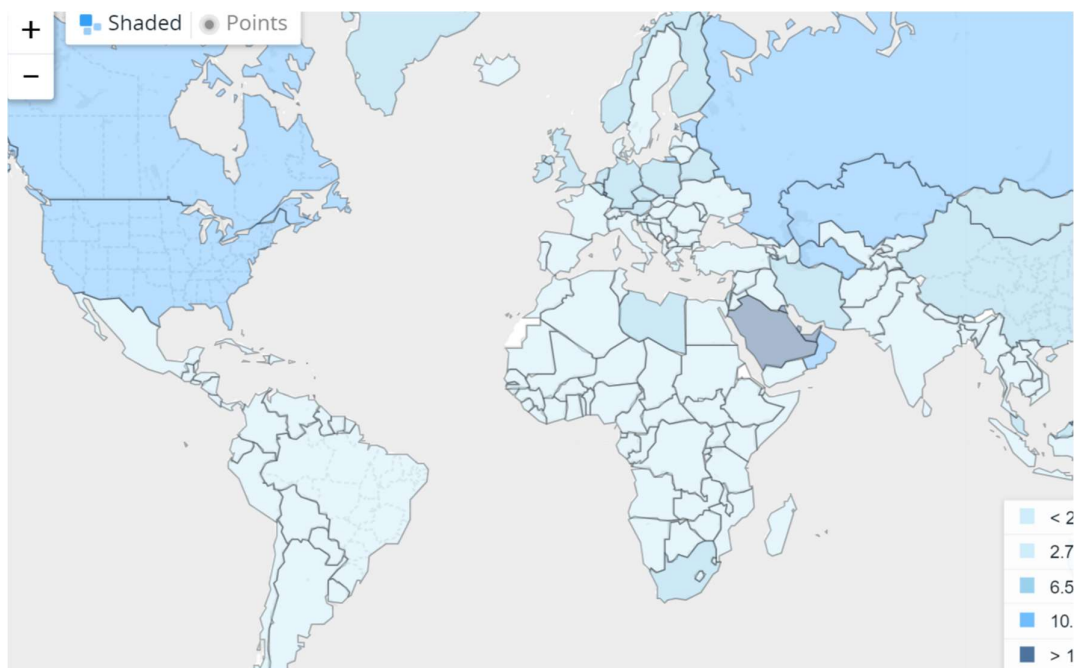


Fig 6. Distribución geo-política del promedio ponderado de Emisiones de GEI *Per Cápita* y por países para el año 2014. Fuente: Banco Mundial (2019).

Se observa que, a pesar del impacto del riesgo hídrico de la Matriz Energética Sustentable analizada sobre el nivel de emisiones GEI, el escenario pesimista (III: 4,30 tnCO₂eq/pers*año) definido en el presente trabajo señala montos de GEI menos impactantes que las observadas en los países desarrollados, cuyos parámetros se aproximan y superan 10 tnCO₂eq/pers*año.

Cuando la Matriz Energética Sustentable satisface su potencial de generación -uno de cada seis años-, las emisiones GEI locales *Per Cápita* se ubican como unas de las más bajas del mundo, entre los 0,36 y los 0,52 tnCO₂eq/pers*año.

DISCUSIÓN

Los escenarios I, II y III elaborados en el presente trabajo se basan en evidencia empírica de un caso altamente representativo como lo constituye la Central Hidroeléctrica Los Caracoles, cuyo potencial de generación de energía comprende el 35% de la Matriz Energética Sustentable analizada. Este registro histórico contradice la hipótesis de sustentabilidad energética y ambiental (H_0) esperada en una Matriz Energética Sustentable principalmente constituida por recursos renovables, cuyo potencial de generación hidroeléctrica alcanza el 85% de la misma. Mediante una prueba de hipótesis t-test se confirma este supuesto.

La introducción del concepto de Riesgo en los análisis en general conduce a la disminución de errores de estimación. Podemos ver que un rango en sí mismo ofrece valores esperados flexibles, para diferentes probabilidades. Al considerar el espectro de valores probables, se identifica el impacto de una variable independiente, extraña al

análisis como lo es el nivel de *hidraulicidad* del río sobre las emisiones de CO₂eq por unidad de energía generada y por usuario.

Los resultados obtenidos mediante los métodos estadísticos de Prueba de Hipótesis permiten establecer inferencias sobre la población, verificando que la Matriz Energética Sustentable estudiada genera energía hidroeléctrica *por debajo* del promedio esperado, impactando significativamente sobre el desempeño ambiental incrementando de un año al otro el nivel de emisiones a la atmósfera. La Matriz Energética Sustentable analizada se ve afectada en forma directa por el nivel de *hidraulicidad* de la cuenca, debido a que es la generación hidroeléctrica su principal componente (85%). La Matriz Energética Nacional se compone de fuentes hidroeléctricas abundantes y estables, asentadas en cuencas prominentes. A nivel nacional, la variabilidad de la *hidraulicidad* de la Matriz Energética Sustentable analizada impacta en menos del 5% de la generación hidroeléctrica en el país, por lo tanto, no sería factible suponer que el factor de CO₂eq por unidad de energía producida sea muy diferente del estimado para la Argentina. A nivel internacional las emisiones locales de CO₂eq *Per Cápita*, originadas en la Matriz Energética Nacional (4,75 y 4,35 tnCO₂eq año/*per cápita*; Banco Mundial e IEA, respectivamente) entre una de las más bajas, si consideramos que EEUU emite entre 14,95 y 16,49 tnCO₂eq año/*per cápita*.

Respecto de las emisiones originadas en la Matriz Energética Sustentable de análisis, con rangos entre los 0,52 y 4,30 tnCO₂eq año/*per cápita*, con una media de 2,00 tnCO₂eq año/*per cápita*, se puede decir que en períodos de baja *hidraulicidad* las emisiones GEI se incrementan significativamente y que este efecto negativo presenta mayor frecuencia (un 83%) que el escenario esperado o potencial (17%). Es decir que la mayoría de los años, se producen emisiones GEI superiores a las reflejadas a partir de la composición de la Matriz Energética Sustentable abordada. En el escenario más pesimista, existe un 66% de déficit energético en la Matriz Energética Sustentable, que debe ser cubierto mediante la provisión de energía eléctrica inyectada por el Sistema Interconectado Nacional, con mayores emisiones GEI a la atmósfera (0,38 tnCO₂eq/MWh).

Cabría preguntarse si la escala de aproximación a las emisiones por países no es demasiado amplia; estudios señalan (Puliafito, S. *et al*; 2017) la mayor precisión alcanzada en la estimación de las emisiones al considerar regiones a escalas inferiores a las departamentales. Resulta razonable escalar las emisiones a dichos límites ya que las normativas de acondicionamiento térmico, entre otras que afectan al consumo energético residencial (casi el 50% en San Juan) dependen de los municipios, partidos o departamentos (Chévez, P.; Martini, I.; Díscoli, C.; 2017).

Es determinante la reducción de las emisiones a la atmósfera mediante la optimización de la envolvente de viviendas barriales, en vistas a la gran participación en la demanda energética del Sector Residencial. Estudios confirman (Blasco Lucas, I. *et al*; 2011) que el mayor consumo energético en viviendas se produce para conservar el confort higrotérmico de los usuarios y que esto supone el uso de diversos recursos no renovables. En este trabajo también se ha verificado que la calidad de diseño y construcción de los hogares es uno de los factores que influye fuertemente en el consumo de energía.

Otra cuestión a plantear es si el Factor de Emisión debe ser considerado como un valor rígido o un rango de valores posibles, particularmente en Matrices Sustentables. El valor estimado de emisiones en base a la potencia instalada de la Matriz Energética es un valor extremo y con baja probabilidad de ocurrencia, y el mismo ofrece una impresión de sustentabilidad engañosa. La Matriz Energética Sustentable analizada es difícil de sustentarse en el tiempo, y solo un 17% de las veces promete emisiones despreciables. Una de las razones de esta variabilidad puede hallarse en la creciente contracción de los glaciares andinos (Diario de Cuyo, 2018), manifestada en una reducción del caudal del río⁵.

La incertidumbre respecto de la disponibilidad de energía de origen renovable, ligada al riesgo de baja *hidraulicidad*, podría comunicarse al consumidor. Mediante un sistema tarifario que penalice el mayor consumo energético en épocas de baja generación hidroeléctrica podrían conservarse las emisiones GEI en un nivel más bajo que el que se manifiesta cuando el usuario sencillamente demanda energía, sin vincularla a la disponibilidad del recurso.

Los parámetros de emisiones *GEI* por Escenario obtenidos en este trabajo son aplicables a todo sector o población cuya demanda energética total provenga de la Matriz Energética Sustentable de análisis. Es posible que el sector industrial deba tener contemplar los efectos de la autogeneración de energía en la estimación de sus emisiones.

NOMENCLATURAS

μ ; media poblacional o teórica, igual a 730.000 MWh*año

X ; media muestral, igual a 182.000 MWh*año

σ ; desviación estándar de la muestra 97.551 MWh*año

s ; desviación estándar de la población

n ; observaciones o eventos, seis años

CV ; coeficiente de variación

REFERENCIAS

AES Argentina (2019) *Negocios* [en línea]. [Fecha de Consulta; 01/02/2019]. Disponible en <https://www.aesargentina.com.ar/>

Apud, Emilio; *et al* (2014) *Argentina debe modificar su Matriz Energética* [en línea]. [Fecha de Consulta; 01/09/2018]. Disponible en <https://www.exsecretarios.com.ar/>

Banco Mundial (2019) Datos. Emisiones de CO2. [en línea]. [Fecha de Consulta; 09/04/2019]. Disponible en <https://datos.bancomundial.org/>

Blasco Lucas, Irene *et al* (2011). *Análisis comparado de Consumos Energéticos en el Sector Residencial de la Ciudad de San Juan*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (2011) Vol. 1 págs. 61-69.

⁵ Este factor tiene relación con fenómenos mundiales como las mayores temperaturas ocasionadas por el calentamiento global y la disminución de las lluvias en zonas desérticas del planeta.

- Boninsegna, José; Villalba, Ricardo (2019) *Documento sobre la oferta hídrica en los oasis de riego de Mendoza y San Juan en escenarios de cambio climático*. [en línea]. [Fecha de Consulta; 01/09/2018]. Disponible en <https://inta.gob.ar/>
- Chévez, Pedro; Martini, Irene; Díscoli, Carlos (2017). *Políticas de Eficiencia Energética Orientadas al Sector Residencial de la República Argentina. Revisión de Trayectorias Disímiles*. Revista Investigación Joven (2017) págs. 7-17
- Clemente Carmen y Naharro Julio (2009). *Comparación de las Tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ en la generación de energía*. Anales de la Real Academia de Doctores de España. Vol.13 págs. 19-29
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico SA (CAMESA) *Informes mensuales 2009-2014* [en línea]. [Fecha de Consulta; 01/04/2018]. Disponible en <https://despachorenovables.cammesa.com/>
- Departamento de Información Económica y Social (DIES). *Consumo de Electricidad 2014*. [en línea]. [Consultado 05/01/2018]. Disponible en <http://dies.chaco.gov.ar>
- Diario de Cuyo (2018) *Confirman que el río San Juan traerá menos agua de la que se esperaba*. [en línea]. [Fecha de Consulta; 16/02/2019]. Disponible en <https://www.diariodecuyo.com.ar/economia/>
- Energía Provincial Sociedad del estado (EPSE). *Hidráulica, Solar, Térmica*. [en línea]. [Fecha de Consulta; 16/04/2019]. Disponible en <http://epsesanjuan.com.ar/web/energia/hidraulica/1>
- Ferraro, Rosana; Gareis María Cecilia y Zulaica, Laura (2013). *Aportes para la Estimación de la Huella de Carbono de los grandes asentamientos urbanos de Argentina*. Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía, vol. 22, n°2, págs. 87-106.
- Frank, Alción (2019). Tesis de Doctorado titulada *Herramienta integral de valoración de la eficiencia energética de edificios de viviendas particulares en altura en etapa post-ocupación; el habitante como eje fundamental. Casos de estudio en ciudad de San Juan, Argentina*. En prensa.
- Frank, Alción et al (2016). *Emisiones de Dióxido de Carbono originadas por el consumo de energía eléctrica en edificios de la Provincia de San Juan-Argentina*. Revista Internacional Hábitat Sustentable (2016) págs.18-25.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC; 2019). *Censo 2010*. [en línea]. [Fecha de Consulta; 16/02/2019]. Disponible en <https://www.indec.gob.ar/>
- International Energy Agency (IEA; 2019). *Estadísticas por países. Emisiones* [en línea]. [Fecha de Consulta; 14/02/2019]. Disponible en <https://www.iea.org/statistics/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable y Ministerio de Energía y Minería de la Nación (2017). *Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático* [en línea]. [Fecha de Consulta; 09/02/2019]. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/planes-sectoriales/energia>
- Ministerio de Energía y Minería de la Nación Argentina (MINEM; 2019). *Datos y Estadísticas* [en línea]. [Fecha de Consulta; 16/02/2019]. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/energia/datos-y-estadisticas>
- Molina, Juan; Martínez, Victor; Rudnick, Hugh; (2011). *Evaluación de Escenarios de Generación, Diversidad Energética y Emisiones de CO₂ del Sistema Interconectado Central de Chile*. Conferencia. Third Latin American Meeting on Energy Economics, ELAEE 2011.

- Puliafito, Salvador et al (2017). *Inventario de Alta Resolución de emisiones atmosféricas del sector energético para Argentina. Parte III: Comparación con otras bases.* Conferencia. PROIMCA-PRODECA 2017
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2019) *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático.* [en línea]. [Fecha de Consulta; 14/02/2019]. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/sustentabilidad/cambioclimatico/>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC; 2019) *Elección de la Metodología y realización de nuevos cálculos.* [en línea]. [Fecha de Consulta; 10/02/2019]. Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/>
- US Dept of State Geographer (2018) *Google Earth Pro* [Fecha de Consulta; 18/02/2019] Disponible en <https://www.google.com.ar/intl/es/earth/>
- Wikipedia (2019) *Represa Los Caracoles* [en línea]. [Fecha de Consulta; 01/09/2018]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/Represa_Los_Caracoles