

HUELLA DE CARBONO DEL CONSUMO DE ELECTRICIDAD EN EL SECTOR RESIDENCIAL DEL ÁREA METROPOLITANA DE TUCUMÁN

Vanesa C. Saez y Beatriz S. Garzón

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU). Universidad Nacional de Tucumán (UNT)
Grupo Hábitat Sustentable y Saludable (GHabSS)
Av. Roca 1900, S.M. de Tucumán, CP 4000, Tucumán. E-mail: vanesaez@gmail.com

Recibido: 15/07/2021; Aceptado: 31/07/2021.

RESUMEN. - Las emisiones de gases efecto invernadero de origen antropogénico, contribuyen al aumento de la temperatura media del planeta de una manera determinante. Dentro de los sectores que inciden en esta problemática, y que nos interesas a los fines de este estudio es el consumo de Energía Eléctrica proveniente de fuentes no renovables. El objetivo principal de este trabajo es determinar las emisiones de Gases Efecto Invernadero, generadas por el consumo de electricidad en el sector edilicio residencial del Área Metropolitana de Tucumán. Para el cálculo, se utiliza la metodología Análisis de Ciclo de Vida simplificada, según normas IRAM en ISO serie 14000. El alcance del análisis se enfoca en la etapa de uso, la unidad funcional se define en MWh consumidos durante los 50 años de vida útil del objeto de estudio. La categoría de impacto que se calcula es Cambio Climático y el flujo de referencia para la medida de salidas es tCO₂ eq por unidad funcional. Los resultados indican que el sector residencial del área metropolitana representa el mayor consumo de electricidad de la provincia y por lo tanto, los mayores valores de emisiones de GEI. Se concluye que la densidad habitacional y el clima del lugar son los factores que mayor inferencia presentan en el resultado obtenido.

Palabras claves: Cambio climático, gases efecto invernadero, matriz energética, energía son renovables.

CARBON FOOTPRINT OF ELECTRICITY CONSUMPTION IN THE RESIDENTIAL SECTOR OF THE METROPOLITAN AREA OF TUCUMÁN

ABSTRACT. - Greenhouse gas emissions of anthropogenic origin, use the increase in the average temperature of the planet in a decisive way. Within the sectors that affect this problem, and that we are interested in for the purposes of this study, is the consumption of Electric Power from non-renewable sources. The main objective of this work is to determine the Greenhouse Gas emissions, generated by the consumption of electricity in the residential building sector of the Metropolitan Area of Tucumán. For the calculation, the Simplified Life Cycle Analysis methodology is used, according to IRAM standards in ISO 14000 series. The scope of the analysis focuses on the stage of use, the functional unit is defined in MWh consumed during the 50 years of useful life of the object of study. The impact category that is calculated is Climate change and the reference flow for the measurement of outputs is tCO₂ eq per functional unit. The results indicate that the residential sector of the metropolitan area represents the highest electricity consumption in the province and therefore, the highest GHG emission values. It is concluded that the housing density and the climate of the place are the factors that present the greatest inference in the result obtained.

Keywords: Climate change, greenhouse gas emissions, energy matrix, non-renewable energy.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático, producido por el calentamiento global, es una de las problemáticas ambientales del siglo XXI a nivel global y local. Las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) de origen antropogénico, contribuyen al aumento de la temperatura media del planeta de una manera determinante. Los estándares de vida que se fueron desarrollando desde la revolución industrial hasta ahora tienen como contracara el desequilibrio ecológico, los cuales necesitan ser potenciadas por energía desde su inicio hasta el fin de su vida útil (Jacobo, 2021); la que generalmente proviene de una matriz energética no renovable.

1.1. Emisiones de GEI en el Sector Energía a nivel mundial y nacional.

La preocupación internacional por el calentamiento global ha disparado discusiones, debates, reflexiones y el desarrollo de herramientas tecnológicas y financieras para disminuir las emisiones de GEI generadas por las actividades humanas (Ferraro et al., 2013). Según el examen estadístico de la energía mundial de Bp Statistical of World Energy [BP] (2019), el consumo de energía primaria (EP) (renovable y no renovable) del sector energético a nivel mundial fue de 583,90 exajoule. De los cuales, las energías no renovables representan un 95% del total, es decir, 554,92 exajoule y las energías renovables inciden en un 5 %, por lo tanto 28,98

exajoule de la totalidad del consumo. En cuanto a emisiones de carbono equivalente, el consumo de EP a nivel mundial emite al ambiente 34169 MtCO₂ eq (BP, 2019), es decir, representan más del 75% del total de emisiones mundiales de GEI (Alonso Frank et al. 2016). Dentro de este sector, la generación Energía Eléctrica (EE), representa el 49.04% de emisiones de GEI a nivel global (Banco Mundial [BIRF-AIF], 2014; Agencia Internacional de la Energía [AIE], 2014). Su incidencia es elevada, esto se debe en gran parte por la combustión de recursos no renovables - combustibles fósiles (carbón, diésel, gas natural)- para su generación. Es por ello, que los países implementan medidas para el uso racional de la energía y persiguen estrategias a fin de provocar la transición energética (Kuchen y Kosak, 2020 p: 45).

En la Argentina, según el MAYDS (2016), el Sector Energético emite al ambiente 193 MtCO₂ eq, es decir, es responsable de un 53% de las emisiones totales correspondientes a 364,44 MtCO₂ eq. Dentro de este sector, la generación de electricidad en el país, registran un valor de 47,8 MtCO₂ eq, es decir, 24,7 % del total del sector energético. Si bien presenta diversidad de fuentes de generación -térmica 65,9%, hidráulica 27,8%, nuclear 5,6%, biomasa (leña y bagazo) 2%, eólica y solar 1%- aún son poco utilizadas las fuentes de origen renovables (Alonso Frank et al., 2016). Asimismo, dentro del sector el consumo de electricidad residencial, emite al ambiente 18,58 MtCO₂eq por año según Inventario Nacional de GEI Sección distribución de GEI por uso final (MAYDS, 2016). Por lo tanto, representa un 38,9% de los GEI asociados a la generación de electricidad.

1.2. Consumo de energía en relación al crecimiento poblacional.

Algunos expertos afirman que las ciudades consumen el 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de GEI (Naciones Unidas [ONU-Hábitat], 2016). Asimismo, se estima que las ciudades sigan creciendo especialmente en los países en desarrollo y en consecuencia, se prevé un aumento de la demanda energética. Según la ONU-Hábitat el 68 % de la población mundial vivirá en zonas urbanas de cara a 2050 (Naciones Unidas [ONU], 2020). Tucumán, ubicada en el Norte de la Argentina, se incluye dentro de este escenario tendencial. Según el Observatorio Federal Urbano (OFU, 2019) del Ministerio del Interior de la Argentina, la provincia presenta un aumento del 77 % de la superficie urbanizada en los últimos 28 años -entre 1991 a 2019- (párr.2) y se considera un mayor crecimiento en los próximos años. A tal efecto, es por eso que esta investigación toma como objeto de estudio el sector residencial el cual, representa la mayor proporción de superficie del Área Metropolitana de Tucumán (AMET). Dentro de los aspectos que inciden en la generación de GEI en este sector, y que nos interesan a los fines de este estudio es el consumo de Energía Eléctrica (EE). En tal sentido, se enfoca en la recopilación de datos sobre la conformación de la matriz energética para la generación de electricidad en la provincia y en el consumo de MWh per cápita. El objetivo principal de este trabajo es determinar las emisiones de GEI generadas por el consumo de electricidad en el sector edificio residencial del Área Metropolitana de Tucumán. Se considera importante tomar conocimiento sobre su contribución al efecto invernadero o calentamiento global. De esta forma, plantear medidas y acciones para la mitigación de su Huella de Carbono. Asimismo, contribuir con las metas propuestas a nivel nacional de avanzar hacia modelos de producción y consumo de energía cada vez más limpios, con altos niveles de eficiencia energética y bajos en emisiones de GEI. Argentina,

tiene como meta incondicional la reducción entre el 18 % al 37 %, del total de las emisiones de GEI para 2030 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable [MAYDS], 2017).

2. METODOLOGIA

Con base en lo antes dicho, se utiliza para el cálculo la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) Simplificada, según las normas IRAM en ISO 14040,14041, 14042, 14043. Si bien este tipo de evaluación ambiental, permite determinar varias Categorías de Impacto Ambiental, a los fines de este estudio solo se determina el potencial calentamiento global (PCG) o (GWP, por sus siglas en inglés) el cual influye en la Categoría de Impacto: Cambio Climático (CC). Como se indica en la figura 1, el ACV, según Norma IRAM en ISO 14040 plantea dividirse en cuatro fases: 1) objetivo y alcance del estudio, los cuales fueron definidos en el punto 1.2 de este trabajo, 2) Análisis del inventario, 3) Análisis del impacto, se desarrollan a continuación y 4) Interpretación, esta última se expresa en la sección Resultados y discusión del este estudio.

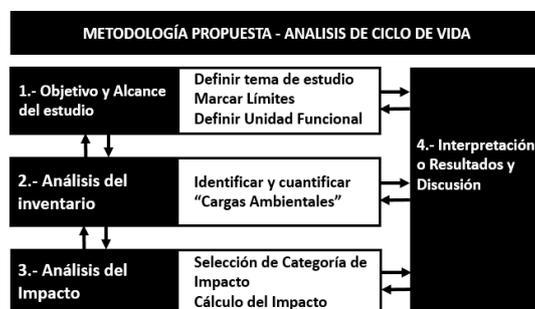


Fig. 1: Metodología propuesta de ACV. Fuente: Elaboración propia con base en IRAM-ISO 14040.

2.1. Análisis del Inventario.

2.1.1 Perfil demográfico de la provincia y el área de estudio.

Tucumán tiene 1.448.200 habitantes según los datos del último censo (INDEC, 2010) y aproximadamente 996.141 habitantes se concentran en el AMET, es decir, el 65% de la población se nuclea en 1200 km² del territorio Censos (Ministerio del Interior, 2012). El AMET comprende la Capital y 4 departamentos colindantes: Yerba Buena, Tafí Viejo, Cruz Alta y Lules, incluyendo comunas aledañas. En la figura 2, la ubicación geográfica de este conglomerado urbano dentro de la provincia y la mancha urbana que se constituye.

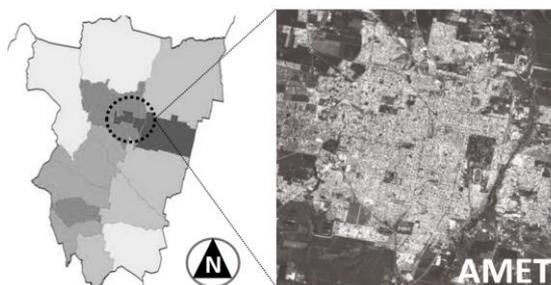


Fig. 2: Ubicación y perfil urbano del AMET. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, es la principal aglomeración urbana al norte de Córdoba y el centro urbano más poblado de la región NOA, ocupando el 5° lugar entre los aglomerados urbanos de la

Argentina. Es un nodo de segunda jerarquía en el sistema urbano nacional tanto por la población aglomerada y estructura ocupacional como por la concentración de sectores económicos dinámicos, sus funciones comerciales, diversidad de servicios y actividades industriales (Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, 2011). El conocimiento de la jerarquía de los asentamientos urbanos se considera fundamental permite inferir el nivel de consumo eléctrico y, por lo tanto, las emisiones de CO₂ generadas (Ferraro et al., 2013). En la tabla 1, se detalla la población, de cada municipio que integran el AMET, posteriormente estos datos se utilizan para calcular el consumo per cápita de EE y las emisiones de GEI en tCO₂eq asociadas.

Tabla 1: Número de habitantes por municipio del AMET

Municipios que integran el AMET	Población [N° de habitantes]
S. M. de Tucumán (capital)	565.221
Cruz Alta	185.413
Lules	70.179
Tafí Viejo	124.886
Yerba Buena	76.976
TOTAL	996.141

Fuente: Elaboración propia con base en INDEC (2010).

2.1.2. Generación de Energía Eléctrica en Tucumán.

La generación de EE en Tucumán puede clasificarse según su destino principal: 1) Generación asociada a redes de transporte y distribución y 2) Autoprodutores de energía eléctrica. En cuanto a la generación de EE asociada a redes de transporte y distribución existen 10 centrales eléctricas. Entre ellas, hay 3 de origen renovable, son pequeñas centrales hidroeléctricas: el Cadillal con una potencia instalada de 12.6 MW, Escaba con 24 MW y Pueblo Viejo con 15 MW, con una generación bruta de EE de 160.932 MWh y representan el 2,6% del total generado (Dirección de

estadísticas de la provincia, 2017). Estas, a su vez se incluyen dentro del 6,9 % de las energías renovables del país, antes del inicio de los proyectos del Renovar (Griffa, 2019). Las 7 Centrales restantes son térmicas, ubicadas en El Bracho, en S. M. de Tucumán, Tafí del Valle y Amaicha del Valle, las cuales, presentan un valor de 6.026.513 MWh de generación bruta de EE (Dirección de estadísticas de la provincia, 2017). Asimismo, constituyen el 4,9 % de la participación porcentual de la generación bruta de energía eléctrica del país. En relación a los Autoprodutores de electricidad, se trata principalmente de centrales térmica tipo turbo a vapor utilizando como combustible bagazo y gas natural. Si bien hoy en día los Autogeneradores inciden en un 0.156% de la producción total de EE en la provincia (Dirección de Estadísticas de la Provincia, 2017), resulta de gran importancia fomentar la autogeneración de energía, devolver energía a la red de distribución y utilizar fuentes renovables, especialmente utilizar la oferta de biomasa y biogás que tiene la provincia (Braticevic, 2017; MINEN, 2019; Kuchen, 2021), así como también, biogás por relleno sanitario, según el Programa RenovAR ronda 1, 1.5 y 2 (MINEN, 2017; Kuchen 2021).

2.1.3. Consumo de Energía Eléctrica en Tucumán.

Otro dato importante para el análisis de inventario es el consumo final de EE diferenciado por tipo de actividad o de usuario y por municipios. En la tabla 2, se muestran los valores registrado según el tipo de usuario del anuario estadístico del sector eléctrico por provincia proporcionado por la Dirección de estadísticas de la provincia (2017). El total de la provincia registra un consumo de EE facturada a usuarios finales, de 2.937.886 MWh. La actividad residencial se ubica en primer lugar y presenta 1.496.567 MWh. lo que representa el 51% del consumo total de la provincia. A su vez, si se analiza el sector residencial, se distingue que los municipios pertenecientes al AMET presenta un consumo de 1.089.256 MWh, es decir, el 75% del consumo de ese sector.

Tabla 2: Valores expresado en MWh facturado a usuario final.

Departamento	Total	Residencial	Comercial	Industrial	A. Público
Burruyacú	71.978	33.170	9.585	25.739	3.483
Capital (AMET)	1.094.236	611.840	238.679	213.830	29.886
Chicligasta	122.018	75.675	25.380	14.738	6.225
Cruz Alta (AMET)	378.655	179.045	41.199	144.174	14.237
Famaillá	129.758	29.343	9.227	88.302	2.885
Graneros	16.570	10.224	2.251	3.206	888
Juan Bautista Alberdi	43.035	27.246	8.207	4.464	3.118
La Cocha	27.632	18.079	4.823	3.250	1.479
Leales	69.664	45.409	8.968	11.315	3.972
Lules (AMET)	286.537	71.479	20.056	189.742	5.260
Monteros	91.837	59.034	14.838	12.142	5.823
Río Chico	84.692	52.019	12.107	15.303	5.263
Simoca	30.795	23.663	4.561	630	1.941
Tafí del Valle	30.711	19.405	6.529	2.251	2.526
Tafí Viejo (AMET)	281.519	149.710	36.989	81.773	13.047
Trancas	37.261	14.043	6.943	14.465	1.810
Yerba Buena(AMET)	140.989	77.181	38.523	19.417	5.868
Total general	2.937.886	1.496.567	488.867	844.740	107.712

Fuente: Elaboración propia con base en MINEN (2016).

2.2 Análisis del Impacto.

Luego de obtener la recopilación de datos en el análisis de inventario, se procede a la siguiente fase del ACV: el cálculo de la Huella de Carbono asociado al consumo eléctrico del sector residencial del AMET. Se expresan a continuación los datos necesarios para la realización de este:

- *Objetivo:* Determinar los GEI asociados al consumo final de electricidad en el sector residencial del AMET.
- *Alcance:* Etapa de Uso
- *Unidad Funcional:* MWh durante 50 años de vida útil.
- *Flujo de referencia:* tCO₂ eq por unidad funcional.
- *Factor de Emisión de referencia:* 0,37 tCO₂ eq/MWh. Provisto por Ministerio de Ambiente y Desarrollo

Sustentable (2017).

- *Factor de Emisión utilizado:* 0,361 tCO₂ eq/MWh Para el caso de Tucumán, en este trabajo, se toma en eq/MWh por no considerar la potencia instalada de las centrales hidroeléctricas que representan el 2,6 % de la generación de EE mediante fuentes renovables en la provincia.

Con base en lo antedicho, en la tabla 3, se muestran los resultados de los valores de tCO₂ eq asociado al consumo de MWh residencial del AMET, como también del resto de los municipios. Se contempla el consumo promedio de un año y también, se estima el de 50 años de vida útil, considerado para determinar la etapa de uso de las las residencias.

Tabla 3: Valores de GEI en tCO₂ eq por el Consumo EE Residencial en un año y 50 años de vida útil para el AMET y el resto de la provincia

Departamento	Población (Habitantes)	Consumo EE Residencial (MWh)	tCO ₂ eq Consumo EE Residencial	tCO ₂ eq Consumo EE Residencial en 50 años
AMET	1.022.675	1.089.255	3,93E+05	1,97E+07
Otros municipios	466.550	407.312	1,47E+05	7,35E+06
Total Provincia	1.489.225	1.496.567	5,40E+05	2,70E+07

Fuente: Elaboración propia

Para una mejor comprensión de los valores recientemente obtenidos, y para comparar con datos normalizados a nivel mundial, se calcula el consumo de MWh per Cápita del AMET y el resto de la provincia. Posteriormente a partir de

este dato, se determinan las emisiones de GEI asociadas este consumo para un año y 50 años de vida útil. En la tabla 4, se expresan los valores obtenidos.

Tabla 4: Valores en MWh per Cápita y de tCO₂ eq per Cápita por el Consumo EE Residencial en un año y 50 años de vida útil para el AMET y el resto de la provincia

Departamento	Consumo EE Residencial Per cápita (MWh)	Consumo EE Residencial Per cápita (MWh x 50 años)	GEI por Consumo EE Residencial Per cápita (tCO ₂ eq)	Consumo EE Residencial Per cápita (tCO ₂ eq) 50 años de vida útil
AMET	0,93	46,94	0,33	16,94
Otros municipios	0,87	43,65	0,31	15,75
Total Provincia	1,00	50	0,36	18,09

Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Valores de tCO₂ eq por el consumo final de EE residencial.

En Tucumán, la actividad que presentó el mayor consumo de energía eléctrica, según los datos proporcionados por la Dirección de Estadística de la provincia (2017) es la residencial con 51%. Asimismo, por tener una matriz energética en un 97,24 % de fuentes no renovables, las emisiones de GEI son significantes y presentan un valor de 5,40E+05 tCO₂ eq en un año. En esta actividad el AMET es el sector de mayor contribución con 3,93E+05 tCO₂ eq, es decir, 72,78%. En lo que respecta al resto de los municipios no pertenecientes al AMET, se obtiene un valor de 1,47E+05 tCO₂ eq, anuales, por lo tanto, inciden en un 27,22%. Los valores de GEI estimados por el consumo de MWh en el sector residencial para un periodo de 50 años son de 2,70E+07 tCO₂ eq para el total de la provincia, de 1,97E+07 tCO₂ eq para el caso de estudio y de 7,35E+06 tCO₂ eq para el resto de municipios. De igual modo que en los resultados obtenidos para el periodo de un año, el conjunto de municipios que

conforman el AMET, emiten al ambiente 2,6 veces más que el resto de la provincia.

3.2. Comparación de los resultados con datos a nivel nacional.

Como se menciona en los datos de la introducción de este trabajo, la Argentina emite al ambiente 18,58 MtCO₂ eq por consumo final de electricidad del sector residencial por año. Por lo tanto, el valor calculado respecto al consumo final de EE residencial en Tucumán, incide en un 2,90 % y su conglomerado urbano en un 2,11 %. Siendo este, un porcentaje significativo en relación a la densidad poblacional de la provincia en comparación a las ciudades cabeceras de nuestro país.

3.3. Valores de MWh per Cápita y de tCO₂ eq por el consumo final de EE residencial.

En el desarrollo del trabajo, se obtiene un valor de 1 MWh per Cápita anual por el consumo final EE residencial y de 50 MWh per Cápita si se considera 50 años de uso de esta energía. Para el caso del AMET, el valor obtenido es de 0,93

MWh per Cápita anual por el consumo de EE residencial en el AMET, anual y de 46,94 MWh para los 50 años de vida útil. Para el resto de los municipios el valor corresponde a 0,87 MWh Cápita anual y de 43,65 MWh per Cápita en 50 años. En el caso del AMET, se observa un valor superior al resto de los municipios, se diferencia un 0,05 MWh per Cápita anualmente y 3,29 MWh per Cápita en 50 años de consumo respecto al resto de la provincia. En el caso de las emisiones de GEI por el consumo final de EE residencial, se observa esa relación directa que prevalece a lo largo de todo este trabajo, a mayor consumo de electricidad mayor emisiones de GEI al ambiente. El valor obtenido para la provincia en su conjunto es de 0,36 tCO₂ eq per Cápita durante un año y de 18,09 tCO₂ eq per Cápita durante 50 años. Para el caso de estudio se obtiene 0,33 tCO₂ eq per Cápita durante un año y de 16,94 tCO₂ eq per Cápita considerando los 50 años y para el resto de municipios 0,31 tCO₂ eq per Cápita durante un año y de 15,75 tCO₂ eq per Cápita en 50 años.

A partir de estos datos obtenidos per Cápita, se determina cual es el porcentaje de incidencia de esta actividad en el total de tCO₂ eq per Cápita consideradas para nuestro país. Se toma como valor de referencia para el caso de Argentina el proporcionado por el Banco Mundial (2018), el cual es de 3,98 tCO₂ eq per Cápita. Este valor indicador se asocia al obtenido en este estudio para el AMET que es de 0,33 tCO₂ eq per Cápita correspondiente al consumo final de EE residencial. Lo que permite inferir que en el caso de un habitante del AMET este tipo de consumo contribuye en un 8,29% al total de las emisiones de GEI calculadas por persona. Resulta importante conocer este porcentaje, pues permite determinar valores más precisos a cada actividad que influye en las emisiones de GEI per Cápita. Y, por consiguiente, tomar medidas específicas orientadas a la reducción de estas emisiones provocadas por esta actividad. Si bien en el presente trabajo, se estudia el consumo de EE en la actividad más desfavorable, queda para futuras investigaciones considerar otras energías no renovables.

También, se compara el valor de emisiones de GEI obtenidos per Cápita para el AMET con una etiqueta de valoración de emisiones CO₂ eq propuesta por el Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHA), de la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño de la Universidad de San Juan (Alonso Frank et al., 2016). En la cual, los autores toman de referencia la clasificación propuesta por Ferraro et al., (2013), que establece el nivel de emisiones de CO₂ eq por desvío estándar mundial. En función a esto, se definen 5 posiciones y cada una de estas, dentro de un rango de valores: emisiones muy inferiores a la media del conjunto 0,08-0,46, emisiones inferiores a la media 0,47-0,86, la media misma 0,86-1,25, emisiones superiores a la media 1,25-1,64 y emisiones muy superiores a la media 1,64-2,03. De este modo, en el figura 3, se presenta el modelo de la etiqueta de valoración.

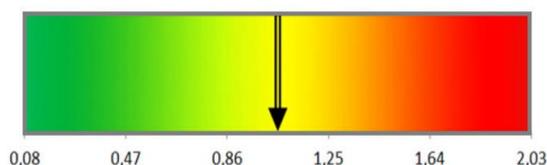


Fig. 3: Modelo de la Etiqueta de calificación de las emisiones de CO₂ eq. Fuente: Alonso Frank et al. (2016)

En la figura 4, se ubica el valor resultante para el caso en estudio que es de 0,33 tCO₂ eq per cápita. En tal sentido, se determina que este valor se posiciona dentro del rango de emisiones muy inferiores a la media del conjunto 0,08-0,46. Si bien resulta un valor aceptable, se debe tener en cuenta que solo representa el consumo final de electricidad de la actividad residencial.

A tal efecto, si se considera el valor indicador de las emisiones totales de GEI per Cápita en Argentina, el cual es de 3,98 tCO₂ eq, este excede de los valores considerados en el rango más alto de la escala del etiquetador. Es decir, está por encima de la categoría denominada: muy superiores a la media la cual oscila entre 1,64-2,03. Lo que da cuenta, que es necesario reducir los valores obtenidos para el caso de la actividad residencial en el AMET, y de esta forma contribuir a la reducción del valor per Cápita total.

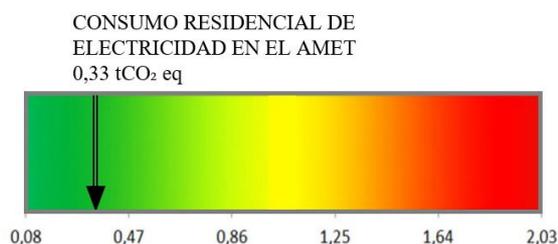


Fig. 4: Calificación de las emisiones de tCO₂ eq por el consumo final de EE en el AMET. Fuente: Elaboración propia con base en Frank et al. (2016)

3.3 Otros aspectos que inciden el consumo final de EE y sus emisiones de GEI.

En párrafos anteriores, se demuestra que los valores de consumo de electricidad y, por lo tanto, de emisiones de GEI en tCO₂ eq presentan una relación directamente proporcional con la densidad poblacional en el sitio. Es decir, a mayores habitantes por región, más consumo de EE, mayor emisión de GEI, cuando se tiene una matriz energética de fuentes no renovables. Sin embargo, este aspecto no es el único que influye en el consumo de electricidad en las residencias. En este sentido, existen trabajos de investigación que demuestran que el perfil climático del territorio sumado a otros factores como: a) las horas de luz diurna, b) días hábiles o fin de semana c) el tipo de actividades laborales o no laborales, infieren de manera significativa en el consumo de energía eléctrica. Además, en este último tiempo la pandemia incrementó el número de personas que trabajan y/o estudian desde el hábitat doméstico. Situación que en muchos casos se convirtió en la nueva actividad a contemplar en las viviendas.

En Argentina, se ha registrado en los últimos años un crecimiento sostenido en la demanda eléctrica con picos de energía y potencia que se desarrollan típicamente en verano y en invierno (Beyrne et al., 2015). El estudio realizado por Mastronardi et al., (2016) a 5 regiones de la Argentina - Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Tucumán y Mendoza- se evidencia un aumento de la demanda en meses "cálidos" que oscila entre 2 a 3% por cada grado centígrado adicional de temperatura y en meses "fríos" solo aumenta entre un 0.3 a 1.4% la demanda ante la disminución de un grado adicional de temperatura. Cabe destacar que, en muchas regiones de nuestro país, para el periodo invernal se utiliza artefactos de calefacción con energía a gas, generando mayor consumo de esta energía y disminuyendo el consumo de electricidad.

En relación a lo antedicho, si se analiza el perfil bioclimático

del AMET, éste pertenece a la zona bioambiental IIB, según Norma IRAM 11603. En la cual, se define la zona IIB como: *clima templado cálido, con amplitudes térmicas mayores que 14 °C, el verano con temperaturas medias entre 20 °C y 26 °C, con máximas medias mayores que 30°C. El invierno no es muy frío y presenta valores medios de temperatura comprendidos entre 8°C y 12°C, y valores mínimos que rara vez son menores que 0 °C. En general, en esta zona se tienen inviernos relativamente benignos* (IRAM, 11603). A partir de esta caracterización, y asociando lo antes expuesto, en el caso del AMET, el mayor aumento del consumo de EE es en el verano.

En la figura 5, se muestran gráficamente los resultados obtenidos para Tucumán en el estudio de Mastronardi et al. (2016). En el cual, se considera como datos de referencias los valores de temperaturas media diaria en grados Celsius provisto por la Estación Meteorológica Nacional y los consumos mensuales de electricidad en MWh proporcionados por CAMMESA (2016).

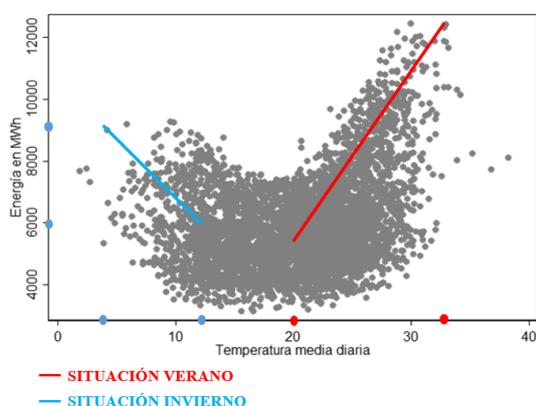


Fig. 5: Relación entre demanda de energía eléctrica y temperatura para todo el conjunto de años (20042016-junio). Fuente: Elaboración propia con base en Mastronardi et al. (2016).

Se observa que a “bajas” temperaturas exteriores la demanda aumenta generando una pendiente negativa: a menor temperatura exterior, mayor dependencia eléctrica y el mayor crecimiento de la demanda de electricidad es a “altas” temperaturas. En tal sentido, es notable este crecimiento a partir de superar los 20 °C de temperatura exterior, generando una pendiente positiva. En efectos, si se consideran ambas situaciones –invierno y verano- la lectura del gráfico se define en forma de “U”. Lo que da cuenta que las mayores demandas de EE está íntimamente relacionadas a las altas y bajas temperaturas dependiendo la estación del año.

Resulta importante también destacar, que el aumento de consumo EE por “altas” temperaturas en nuestro caso de estudio se ve afectado también por el efecto: isla de calor urbana. En zonas urbanas densamente construidas la temperatura del aire exterior es mayor que la temperatura en los alrededores de la ciudad generando un micro clima (Carrasco et al., 2003). Entre los factores de influyentes se observa: a) la geometría urbana, b) el calor antropogénico y c) las cargas térmicas de los materiales de construcción. En verano el incremento de temperatura en el medio urbano es negativo, pues se incrementa la demanda de refrigeración y se reduce el potencial de enfriamiento pasivo durante la noche (Correa et al., 2003).

Por todo lo expuesto, es indispensable mejorar la eficiencia energética de la vivienda, a partir del conocimiento del clima del lugar (Fernández et al., 2020) y de la geometría urbana. Con el objetivo de lograr el acondicionamiento térmico y lumínico del hábitat mediante pautas pasiva de diseño, las cuales, garanticen el confort térmico, mediante el aprovechamiento de energías limpias. Con el fin de reducir principalmente la climatización termo mecánica del edificio y por lo tanto el consumo de EE y de las emisiones de GEI.

4. CONCLUSIÓN

Se concluye que el sector residencial en la provincia presenta el mayor consumo de EE y por lo tanto, de las emisiones de GEI asociadas a este uso. Dentro de este sector, el AMET presenta el mayor consumo con un valor aproximado de 1,09E+06 MWh y las emisiones de GEI asociadas son de 3,93E+05 tCO₂ eq siendo el 72,78% del total de la provincia. Asimismo, se considera que los factores que influyen a este gran porcentaje son: a) el número de habitantes, b) la densidad poblacional, c) el clima de la región sumando a este, el efecto “isla de calor”, d) su geometría urbana, c) las propiedades térmicas de los materiales constructivos, d) el calor antropogénico y e) las actividades a desarrollar en las viviendas. Siendo estas últimas, incrementadas frente el contexto de pandemia y pos-pandemia por incluir en el hábitat doméstico el teletrabajo y educación online. Respecto a las emisiones de GEI, para esta misma actividad, a nivel nacional el AMET representa solo el 2,11% del total. Si bien presenta un porcentaje bajo de incidencia, se debe tener en cuenta que es un centro urbano en crecimiento. Por lo tanto, a medida que crece el número de habitantes, aumenta el uso de energía eléctrica y de gases contaminantes asociados.

Por otra parte, el valor obtenido para el AMET en toda la etapa de uso, estimada en 50 años es de 1,97E+07 tCO₂ eq. Éste valor puede sufrir aumentos significativos en el transcurso del tiempo producto del crecimiento poblacional con todos los aspectos que eso involucra, así como también, cambios bruscos en el clima, consecuencia del calentamiento global, provocando un mayor uso de climatización termo-mecánica.

Por todo lo antes expuesto, resulta necesario plantear diversas estrategias para la reducción del consumo de la EE y en consecuencias su impacto ambiental. Es decir, se debe procurar mejorar el rendimiento de las tecnologías para la generación de Electricidad incrementar la producción de ésta a partir de fuentes renovables. Como por ejemplo, utilizando la oferta de biomasa y biogás que tiene la provincia. También, es primordial promover el uso responsable de la energía mediante la concienciación del usuario y la eficiencia energética en las edificaciones. A tal efecto, debe ser requisito urgente mejorar el comportamiento higrótérmico edilicio, ajustando las características termo-energéticas de las envolventes arquitectónicas en relación a las condiciones bioclimáticas del lugar.

REFERENCIAS

- Agencia Internacional de Energía [AIE] (2021). Archivos electrónicos de la Agencia Internacional de la Energía sobre emisiones de CO₂ originadas por la quema de combustible.
- Alonso Frank, A., Kuchen, E., Alamino Naranjo, Y., & Arballo, B. (2016). Emisiones de dióxido de carbono originadas por el consumo de energía eléctrica en

- edificios de la Provincia de San Juan-Argentina. *Hábitat Sustentable*, **6**(1), 18-25. Recuperado de: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2352>
- Alvarez, A.A., Kurbán, A., Papparelli, A., Cúnsulo, M. (2010). Influencia del consumo energético en la isla de calor urbana de una ciudad de clima árido. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **14**, 77-84.
- Banco Mundial [BIRF-AIF] (2014). Emisiones de CO2 originadas por la producción de electricidad y calefacción, total (% del total de la quema de combustible). Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.ETOT.ZS>
- Beyrne, G., Malvicino, F., Trajtenberg, L.A., (2015). Modelo Estacional de Demanda de Energía Eléctrica. Documento de trabajo N°11. Subsecretaría de Programación Macroeconómica
- Bp Statistical Of World Energy [Bp] (2019). Examen estadístico de la energía mundial. Recuperado de: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- Braticevic, S.I. (2013). Potencial de la bioenergía en la Provincia de Tucumán, Argentina. Análisis y perspectivas desde el concepto de desarrollo sostenible; *Associação de Geógrafos Brasileiros; Geopantanal*; **12**; 22; 6-2017; 121-141
- Carrasco, C., Palme, M., Galvez, M.A., (2016). Factor de cielo visible y el efecto isla de calor en Valparaiso. *Urbano*, **34**, 26-33. doi: <https://doi.org/10.22320/07183607.2016.19.34.3>
- Correa, E.N., Flores Larsen, S., Lesino, G., (2003). Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **7**, 2, 25-30.
- Dirección del Área Metropolitana Del Interior [DAMI] (2012). Programa de desarrollo de áreas metropolitanas del interior. Recuperado de <http://www.dami.uec.gov.ar/areas-metropolitanas/am-tucuman/>. Ministerio del Interior.
- Dirección de Estadísticas De La Provincia (2017). Generación de Energía Eléctrica en Tucumán. Gobierno de Tucumán. Recuperado de: <http://estadistica.tucuman.gov.ar/archivos/6PBP/3INFO/RME/Informe%20-%20Oferta%20de%20energ%C3%ADa.pdf>
- Fernandez, A., Saez, V., Garzon, B. (2021). Evaluación del comportamiento térmico edilicio: Un caso en el Valle Calchaquí Tucumano. *Arquitecto*, **17**, 53-62 DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0174983>
- Fernández, R. (2019). Transición Energética 2050. Hacia una visión compartida de la transición energética argentina al 2050: propuesta de objetivos y metas. (Edición: J. Dumas y D. Ryan). Buenos Aires: Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética (UBA), Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), Fundación AVINA.
- Ferraro, R.; Gareis, M. & Zulaica, L. (2013). Aportes para la estimación de la huella de carbono en los grandes asentamientos urbanos de Argentina. *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.* [Online], **22**, 2, 87-106.
- Griffa, B. (2019). Energías renovables en Argentina Antes del inicio de los proyectos del RenovAr. Centro de Investigación en Economía y Planeamiento Energético - CIEPE - UNSAM. Buenos Aires, Recuperado de: <https://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/Ciepe/pdf/EnergiasrenovablesenArgentina.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INDEC] (2021). *Censo 2010*. Recuperado de: <http://www.indec.gov.ar>.
- IRAM 11603: Acondicionamiento térmico del edificio. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM-ISO 14040. Gestión Ambiental Análisis de ciclo de vida. Principio y marco. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM-ISO 14041. Gestión Ambiental Análisis de ciclo de vida. Definición de la meta y alcance y análisis del inventario. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM-ISO 14042. *Gestión Ambiental Análisis de ciclo de vida. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida*. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- IRAM-ISO 14043. *Gestión Ambiental Análisis de ciclo de vida. Interpretación del ciclo de vida*. El Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Jacobo, G. (2021). Energía y Tecnología de la construcción. Especialización Arquitectura Sustentable EAS-CEEHAS-FAU-UNT.
- Kuchen, E. & Kozak, D. (2020). Transición energética argentina. El nuevo estándar de eficiencia energética en la evaluación de la vivienda social. Caso de estudio: vivienda de barrio papa francisco. *Hábitat sustentable* [online], **10**, 1, 44-55. doi: <http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.04>.
- Mastronardi, L., Sfeir, M.A., Sanchez, S. (2016). La temperatura y su influencia en la demanda de energía eléctrica: Un análisis regional para Argentina usando modelos econométricos. Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos. Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico. Ministerio de Energía y Minería de la Nación.
- Ministerio De Ambiente y Desarrollo Sustentable [MAyDS] (2017). *Plan De acción Nacional de Energía y Cambio Climático*. Recuperado de: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/infografi_a_energia_esp_0.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable [MAyDS] (2017). Inventario de GEI de Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>.
- Ministerio de Energía y Minería (2017). *Informes estadísticos del sector eléctrico*. Recuperado de: <https://www.minem.gob.ar/www/833/25897/proyectos-adjudicados-del-programa-renovar>
- Ministerio del Interior (2012). Programa de Financiamiento Externo .Desarrollo de Áreas Metropolitanas del Interior. (DAMI). Recuperado de: [https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/TUCUMAN/Plan-Ejecutivo-Metropolitano-Tucuman-\(DAMI\).pdf](https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/planes-loc/TUCUMAN/Plan-Ejecutivo-Metropolitano-Tucuman-(DAMI).pdf)
- Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios (2011). Plan Estratégico Territorial Avance II: Planificación Estratégica Territorial. Recuperado de: <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/PETII-LibroI.pdf>
- Naciones Unidas [ONU- HABITAT] (2020). Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático. Recuperado de <http://www.un.org/es/climatechange/cities-pollution.shtml>
- Observatorio Federal Urbano [OFU] (2019). Consumo de suelo por habitantes. Recuperado de: <https://ofu.obraspublicas.gob.ar/Indicators/UrbanDinamics/GroundConsumptionPerInhabitant/Analysis>.