

## Analysis of the implementation of a Strategy for Energy Consumption Reduction in the Residential Sector of Ecuador: Impact Evaluation in the Energy Matrix

### Análisis de la Implementación de una Estrategia de Reducción del Consumo Energético en el Sector Residencial del Ecuador: Evaluación del Impacto en la Matriz Energética

Alberto Ríos<sup>1</sup>Jesús Guamán<sup>1</sup>Carlos Vargas<sup>1</sup><sup>1</sup>Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador

E-mail: a.rios@uta.edu.ec; jguaman0585@uta.edu.ec; cvargas0028@uta.edu.ec

#### Abstract

In this article an evaluation of the impact on the energy matrix of the implementation of a strategy to optimize energy consumption in the residential sector of Ecuador was made. The proposal for the optimization of residential energy consumption considers the electrification of cooking and water heating systems in homes, by means of high efficiency systems replacing LPG cylinders. Likewise, the reduction of energy consumption in homes is evaluated due to the integration of bioclimatic criteria in the construction of houses and buildings, as well as the replacement of inefficient electric refrigeration and lighting equipment with the help of the Simulation and Analysis software, the Energy Matrix, SAME. In the LPG replacement scenario, which implies the consumption of electricity for the home that requires the construction of new power plants to cover the expected increase in demand. The implementation of energy efficiency strategies, efficient generation of refrigeration and lighting, as well as the integration of solar thermal systems, would allow the construction of new hydroelectric plants, avoiding the importation of electricity from neighboring countries and the environmental impact of hydroelectric dams.

#### Resumen

En el presente artículo se realiza una evaluación del impacto en la matriz energética de la implementación de una estrategia de Reducción del consumo energético en el sector residencial del Ecuador. La propuesta de Reducción del consumo energético residencial considera la electrificación de los sistemas de cocción y calentamiento de agua en las viviendas, por medio de sistemas de alta eficiencia en sustitución de los cilindros de GLP. Asimismo, se evalúa la reducción del consumo energético en las viviendas debido a la integración de criterios bioclimáticos en la construcción de viviendas y edificios, así como, a la sustitución de equipos eléctricos ineficientes de refrigeración e iluminación con ayuda del software de Simulación y Análisis de la Matriz Energética, SAME. En el escenario de sustitución del GLP revela que implicaría un incremento del consumo eléctrico doméstico lo que exigiría la construcción de nuevas centrales eléctricas para cubrir el incremento de demanda esperada. La implementación de estrategias de eficiencia energética, basada en la integración de equipos eficientes de refrigeración e iluminación, así como la integración de sistemas solares térmicos, permitiría reducir sustancialmente la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas, evitando la importación de electricidad de países vecinos y el impacto medioambiental de las represas hidroeléctricas.

**Index terms**— SAME, simulation scenarios, bioclimatic architecture, optimization.

**Palabras clave:** SAME, escenarios de simulación, arquitectura bioclimática, Reducción

Recibido: 14-05-2018), Aprobado tras revisión: 25-07-2018

Forma sugerida de citación: Ríos, A.; Guamán, J.; Vargas, C. (2018). "Análisis de la Implementación de una Estrategia de Reducción del Consumo Energético en el Sector Residencial del Ecuador: Evaluación del Impacto en la Matriz Energética". Revista Técnica "energía". No. 15, Issue I, Pp. 98-109

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2018 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

### 1. INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda define la vivienda como un recinto de alojamiento estructuralmente separado, con entrada independiente, construida, edificada, transformada o dispuesta para ser habitada. Para definir las políticas habitacionales del Ecuador cada 10 años se realizan censos de viviendas, que permiten definir el estado, calidad, tipo y tenencia de las viviendas. En el año 2010, el Censo de Población y Vivienda estableció que existen 4 654 540 viviendas. El 70,6% de las viviendas corresponden a casas o villas y el 11,7% son departamentos en edificios [1]. El 17,7% de las viviendas corresponden a ranchos, mediaguas, cuartos, covachas, chozas u otras viviendas particulares, Fig. 1.

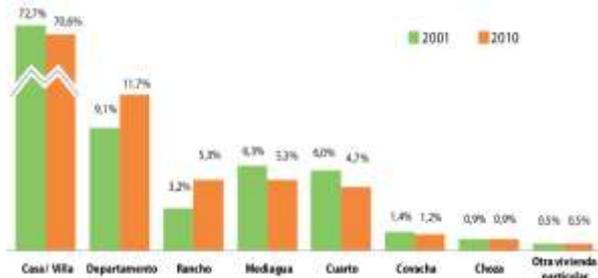


Figura 1. Tipo de viviendas en el Ecuador según el censo del año 2010.

En el año 2014, aproximadamente el 12% del consumo final de energía correspondió al sector residencial, aproximadamente 11 921 kbp [2]. El GLP es el combustible fósil predominante en la demanda final de energía, en el sector residencial, con un 53% del total, destinado prioritariamente a la cocción de alimentos y al calentamiento de agua. Por otro lado, el consumo de leña para usos de cocción en zonas rurales representa el 14% del total de la demanda de energía. El Estado ecuatoriano apuesta por un cambio en la matriz de consumo de GLP para la cocción y calentamiento de agua, promoviendo la masificación de cocinas de inducción y calentadores eléctricos kbp [3]. Finalmente, el consumo de electricidad representa el 33% de la demanda total de energía del sector residencial, Fig. 2.

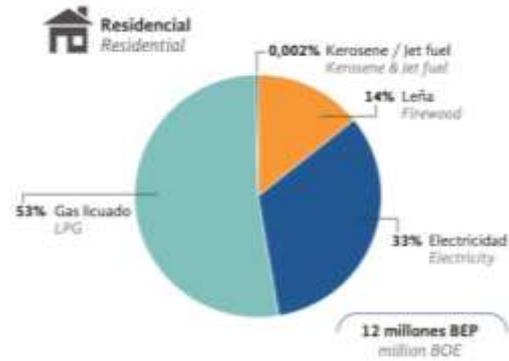


Figura 2: Estructura del consumo final de energía por sectores económicos y de la demanda en el sector residencial en el año 2014 [2].

El Ecuador importa el 84% de la demanda total de GLP. Por tanto, uno de los desafíos del sector energético ecuatoriano es sustituir al máximo el consumo de GLP en el sector residencial por tecnologías menos contaminantes, que garanticen el suministro energético sin depender de la volatilidad de los precios internacionales de los combustibles fósiles.

Por otro lado, la ubicación geográfica del Ecuador hace que esté presente una diversidad de climas los cuales se ven reflejados en el consumo de energía, incrementando el consumo de energía en las zonas más cálidas para climatización y el consumo de GLP en la zona sierra o templada para calentamiento de agua. Como se puede ver los consumos más altos del sector residencial se distribuyen el uso de energía eléctrica y GLP. Sin embargo, los consumos finales de esta energía se pueden minimizar al emplear estrategias de reducción del consumo energético como la arquitectura bioclimática. La ONU y el Consejo Mundial de la Energía en su Informe Mundial de la Energía reconocen que el uso de estas estrategias puede reducir hasta un 30% de la energía que se malgasta por el uso ineficiente en casas, edificios, empresas y vehículos. Esto es aplicable al Ecuador, por lo que el ahorro energético tiene potencial para contribuir al desarrollo sostenible de la matriz energética del país [1].

### 2. METODOLOGIA

La metodología propuesta de evaluación del impacto de la matriz energética de la implementación de una estrategia de reducción del consumo energético en el sector residencial se realizó, con ayuda del software de simulación y análisis de la matriz energética, SAME desarrollada por OLADE. La metodología utilizada por el software de simulación parte de un año base con un proyecto de desarrollo sostenible, y se proyecta el escenario planteado en un horizonte de años determinados con el fin de analizar el comportamiento de la matriz energética en un año futuro, Fig. 3.

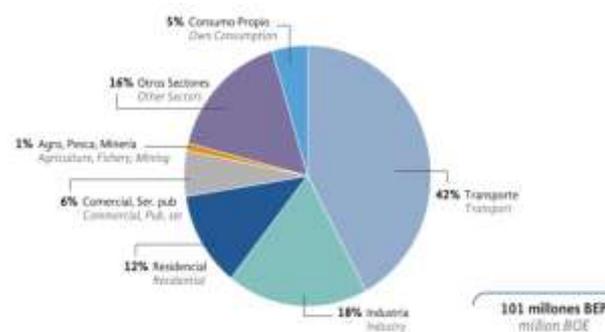




Figura 3: Metodología de simulación usado por el software SAME

Asimismo, entre sus principales funcionalidades destacan:

Estructura parametrizable de la matriz energética.

Desagregación del ámbito geográfico de estudio por subregiones.

Reportes agregados y detallados del balance de energía.

Ingreso de datos y reporte de resultados en formato de Excel.

Basados en esta metodología se ha realizado lo siguiente:

- Un análisis del consumo energético en el sector residencial con la finalidad de identificar la distribución del consumo final de la energía en los últimos años en el Ecuador. El estudio permitirá analizar el consumo promedio por abonado en el mercado eléctrico ecuatoriano, basado en evaluar la diversidad de consumo y la distribución energética en el país.
- Una vez que se ha identificado el consumo eléctrico promedio por abonado se realiza una estimación de consumo en un horizonte de 20 años, basado en la estimación de la tasa de crecimiento de la población y de la demanda eléctrica.

Con los datos obtenidos del estudio se ha realizado la simulación en función de las siguientes fases.

- Se realizó una simulación de la proyección del consumo eléctrico en el sector residencial desde el año 2014 hasta el año 2035. Los datos del año 2014, año base, se obtuvieron del balance energético del 2014. La simulación no incluyó ninguna estrategia de Reducción del consumo eléctrico residencial. Los resultados obtenidos permitieron definir un valor promedio del consumo eléctrico por abonado, en un escenario sin modificaciones del consumo eléctrico residencial, denominado Business as Usual, BAU.
- Se realizó una simulación de la proyección del consumo eléctrico residencial desde el año 2014 hasta el año 2035, considerando la sustitución de GLP por equipos eléctricos de cocción y calentamiento de agua doméstica. En este escenario de sustitución de GLP se comprueba un significativo incremento del consumo eléctrico promedio por abonado, debido a la sustitución de sistemas de cocción eléctrico por los de consumo de GLP, que se analizarán a más detalle en el documento.

Con el objetivo de reducir el consumo eléctrico promedio

por abonado, se realizaron subsecuentes simulaciones, en el horizonte analizado 2014-2035, basadas en las siguientes estrategias de reducción:

-Reducción por integración de criterios bioclimáticos arquitectónicos en la construcción de edificaciones.

-Reducción por sustitución de sistemas de refrigeración ineficientes.

-Reducción por sustitución de aparatos eléctricos domésticos ineficientes.

-Reducción de sistemas de iluminación ineficientes, basados en la integración de sistemas inteligentes de control y tecnología LED.

-Reducción del consumo eléctrico por integración de sistemas solares térmicos en el para calentamiento de agua.

Finalmente, se presentaron los resultados obtenidos con las subsecuentes reducciones del consumo eléctrico residencial, gracias a las estrategias de reducción implementadas, en comparación con el escenario BAU y el escenario de sustitución de GLP.

Se realizó un análisis de la necesidad de construcción de un significativo número de centrales hidroeléctricas para el suministro eléctrico residencial asociado a la sustitución de GLP por cocinas de inducción y equipos eléctricos de calentamiento de agua. Las subsecuentes propuestas de Reducción del consumo eléctrico residencial permiten reducir sustancialmente el volumen de generación de energía eléctrica y, por tanto, se reduce el número de centrales eléctricas a construir en el horizonte 2014-2035

## 2.1. Consumo energético de las viviendas en el Ecuador

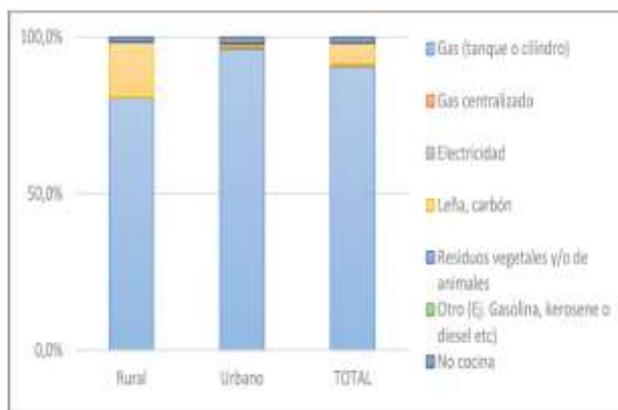
El consumo energético del sector residencial en el Ecuador depende de la situación geográfica de las viviendas. En la tabla 1, se observa una clasificación simplificada de las características de la demanda energética de las viviendas en el Ecuador, actuales y futuras, en función de las condiciones climatológicas de las zonas geográficas del país – clima cálido-húmedo o templado a templado frío – y de los recursos económicos de los moradores de la vivienda – limitados o con mayor poder adquisitivo [4]. Por tanto, la caracterización del consumo energético de las viviendas del Ecuador está fuertemente condicionado por la capacidad económica de las familias para adquirir servicios y bienes energéticos de primera necesidad, así como por las condiciones geográficas de la ubicación de las viviendas – insular, costa, sierra u oriente – mismas que se ven reflejadas en las condiciones climáticas del país.



**Tabla 1: Clasificación de las características de la demanda energética de las viviendas en función de las zonas climáticas del país [4].**

Clima cálido-húmedo: Vivienda del sector con limitados recursos económicos	
Existente	Futura
Sin refrigeración artificial	Limitada penetración de equipos Split
Sin instalación de agua caliente	Crecimiento de duchas eléctricas
Limitados electro-domésticos, heladeras, etc.	Crecimiento de cocinas y otros artefactos eléctricos
Clima cálido-húmedo: Vivienda del sector con mayor poder adquisitivo	
Existente	Futura
Con refrigeración artificial, sin saturación	Crecimiento del uso de equipos Split
Con instalación de agua caliente eléctrica	Crecimiento del volumen de agua y saturación
Mayor tenencia de electro-domésticos	Crecimiento del número de electro-domésticos
Clima de sierra, templado a templado frío: Vivienda del sector con limitados recursos económicos	
Existente	Futura
Sin acondicionamiento térmico (calefacción)	Posible necesidad y crecimiento en zonas altas
Limitada saturación de calentadores de agua	Crecimiento de demanda de duchas eléctricas
Electro-domésticos: heladeras, TV, etc.	Crecimiento del número de artefactos y potencia
Clima de sierra, templado a templado frío: Vivienda del sector con mayor poder adquisitivo	
Existente	Futura
Muy limitada demanda de calefacción o refrigeración	Posible aumento por tendencias constructivas y vidrio
Importante demanda para agua caliente	Crecimiento en demanda, artefactos y expectativas
Electro-domésticos: importante demanda	Crecimiento en número de artefactos y potencia

El consumo energético del sector residencial se conforma por el empleo de un combustible fósil como el GLP para las actividades domésticas de cocción y el calentamiento de agua y de un recurso renovable como la leña para la cocción de alimentos, preferentemente en zonas rurales. Además, la electricidad es una energía secundaria indispensable para el funcionamiento de los aparatos domésticos del hogar [3]. En el último censo del año 2010, el Ecuador tenía 14 483 499 habitantes y 3 810 548 familias [5]. El 91% de las familias utilizan GLP como combustible para la cocción de alimentos y calentamiento de agua mientras que un 7,5% de familias emplean leña o carbón, tabla 3 y figura 3. El restante 1,5% se reparte entre gas centralizado, electricidad, residuos vegetales y/o animales y otros combustibles como gasolina, kerosene o diésel, Fig. 4.



**Figura 4: Distribución porcentual del uso de fuentes de energía para cocción y calentamiento de agua en los hogares del Ecuador [5].**

Otro rubro del consumo de energía en el sector residencial es la demanda de energía eléctrica. En los hogares del Ecuador, el principal consumo de electricidad corresponde a los dispositivos de iluminación, un 43% en la Costa, y un 55% en la Sierra del consumo eléctrico total del sector residencial con un

porcentaje promedio en la amazonia [6]. En segundo lugar, en porcentaje de consumo eléctrico en los hogares ecuatorianos, se encuentran los sistemas de refrigeración de alimentos, con el 23% en la Costa y el 14% en la Sierra. El tercer uso doméstico más importante de la energía eléctrica corresponde al aire acondicionado con el 13%, en la costa, mientras que, en la Sierra, el calentamiento de agua representa el 7% del consumo eléctrico doméstico.

**Tabla 2: Consumo eléctrico promedio anual por abonado del sector residencial para diferentes regiones del país [6]**

REGIÓN	CONSUMO kWh/año
Sierra	1.292
Costa	1.653
Insular	2.069
Oriente	1.436

El consumo eléctrico promedio anual por abonado por región del sector residencial, tabla 2, fue estimado en base a estadísticas del año 2010. El mayor consumo eléctrico promedio residencial corresponde a la región Insular, mientras que el menor se produce en la región Sierra. El mayor consumo eléctrico en las regiones Costa, Insular y Oriente se debe principalmente a los consumos asociados a los equipos de aire acondicionado y refrigeración, empleados con mayor asiduidad debido a las condiciones climáticas de estas zonas. Es importante indicar, que en el sector residencial se han implementado algunas iniciativas del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, MEER, para reducir el consumo energético, entre las que destacan [6]:

- “Programa para la Renovación de Equipos de Consumo Energético Ineficiente – Proyecto N° 1 Sustitución de Refrigeradoras ineficientes” que prevé sustituir a nivel nacional 330 000 refrigeradoras de consumo ineficiente (mayor de 10 años de uso) por otras de alta eficiencia energética.

- Proyecto de “Sustitución de focos ahorradores por incandescentes”, se inició en el 2008 con la sustitución de 6 000 000 de focos ahorradores, destinada al sector residencial con consumos menores a 150 kWh/mes. En el año 2010, se sustituyó 10 000 000 de focos ahorradores en sectores como salud, educación y servicio social y usuarios residenciales con consumos de hasta 200 kWh/mes.

- “Programa de cocción eficiente”, ejecutado por MEER, que aspiraba hasta el 2016 la sustitución de 3 000 000 de cocinas en los hogares ecuatorianos. Para promocionar la masiva instalación de cocinas de inducción se ha promocionado la entrega de un incentivo tarifario hasta de 80 kWh en la planilla de consumo de electricidad, a todos los usuarios del sector residencial que utilicen cocinas de inducción y de 20 kWh por el uso de los nuevos calentadores de agua y duchas eléctricas.

En el Ecuador, la vivienda es un derecho garantizado por la Constitución Política del Estado del año 2008. No obstante, en el país, existe un preocupante incremento del déficit acumulado de viviendas. Actualmente, en el Ecuador, el 45% de los 3 800 000 de hogares ecuatorianos habitan en viviendas inadecuadas. Así, en el año 2006, el déficit de viviendas se ha incrementado de 1 430 000 unidades hasta 1 700 000 viviendas en el año 2012 sobre total de 3 800 000 hogares y una población de casi 15 000 000 de habitantes [7]. Existen 1 730 000 hogares con déficit cualitativo, que residen en viviendas cuya tenencia es insegura, construidas con materiales inadecuados, con carencia de servicios sanitarios básicos, o con problemas de hacinamiento.

## 2.2. Estimación del consumo eléctrico residencial al año 2035

Para el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional hasta el año 2035, se empleó como dato base el número de habitantes del año 2010 y la tasa de crecimiento tendencial al año 2014, se redujo de 3,10% en el 1974 a 1,95% en el año 2010. Esa tendencia de decrecimiento será verificada en el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional entre el año 2010 y 2035. La ecuación (1), permite calcular la tasa de crecimiento poblacional entre los años 2010 y 2035 [8]. En la Fig. 5, se observa el índice de crecimiento poblacional de los últimos 50 años y una proyección al año 2040 [9].

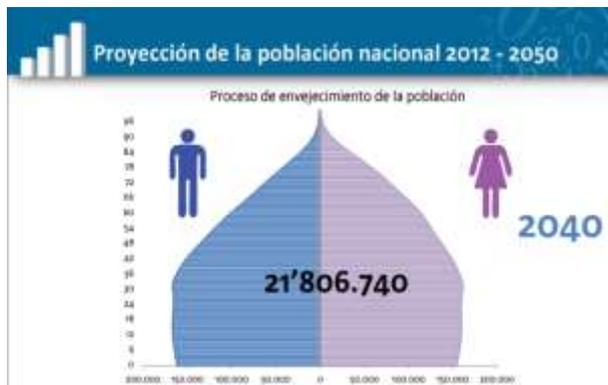


Figura 5: Evolución de la tasa de crecimiento poblacional del Ecuador entre 1962 y 2010; y población esperada al año 2040 [9].

$$t = \left(\frac{V_f}{V_o}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (1)$$

Donde:

t = Tasa promedio de crecimiento actual

V<sub>f</sub> = Valor en el año final del periodo histórico

V<sub>o</sub> = Valor en el año inicial del periodo histórico

n = año final - año inicial

La tasa de crecimiento poblacional del Ecuador entre el año 2035 y el año 2010 resultó igual a 1,46. Por tanto, la población del Ecuador al año 2035 superaría los 20 866 000 habitantes. Por otro lado, el cálculo de la tasa de crecimiento del número de abonados eléctricos al año

2035 se realizó considerando diferentes tasas de crecimiento por década. Así, el cálculo de la tasa de crecimiento del año 2000 al 2010 fue de 4,93%. Entre el año 2010 y 2014 la tasa de crecimiento se redujo de 4.93% a 4.2%. Para el lapso de 2020 al 2030 y se han considerado las siguientes tasas de crecimiento, 3,5% y del 2030 al 2035 el 2,5%. Esta reducción en la tasa de crecimiento de abonados se debe a la cobertura eléctrica y la reducción de la tasa de crecimiento poblacional. Empleando las tasas de crecimiento anteriormente indicadas, se calculó que el número de abonados eléctricos al año 2035 sería de 8 417 364 abonados.

Con la ayuda de la herramienta SAME, software de Simulación y Análisis de la Matriz Energética, desarrollado por OLADE, Organización Latinoamericana de la Energía, se ha proyectado el crecimiento del consumo de energía eléctrica en el sector residencial hasta el año 2035. La tasa de crecimiento entre el año 2014 y 2035 se ha considerado igual a la calculada para el periodo 2010 – 2014, obtenido de la tabla 1, e igual 5,2%. La herramienta SAME permite proyectar la demanda eléctrica con una tasa de crecimiento anual igual al 5,2%, sin considerar ninguna modificación en los patrones de consumo de la sociedad ecuatoriana, escenario Business As Usual, BAU. Por ejemplo, no se considera ningún cambio en el consumo de GLP en el sector residencial. Así, el consumo eléctrico residencial en el Ecuador se incrementa de 3 945,68 kbeq a 12 434,25 kbeq, equivalente a un consumo de 6 364,0 GWh, en el año 2014, a 20 068,19 GWh, en el año 2035. Por tanto, se observa un incremento de 13 704,2 GWh que se deberá asumir con la construcción de nuevas centrales eléctricas. El consumo eléctrico por abonado al año 2035 será igual a 2 384,14 kWh/año, en comparación con el año 2014, se incrementaría en 838,66 kWh/abonado.

## 2.3. Análisis de la implantación de una estrategia de reducción del consumo energético en el sector residencial

El sector residencial es el principal consumidor de GLP en el país. La sustitución de 3 000 000 de cocinas de GLP por cocinas eléctricas de inducción, y 750 000 calefones a gas por sistemas eléctricos de calentamiento permitirá una importante reducción del consumo energético de derivados de petróleo en el sector residencial [2]. Al año 2014 se han instalado más de 350 000 cocinas de inducción. Todos los usuarios que migren del gas a la electricidad para cocción de alimentos y calentamiento de agua recibirán gratuitamente desde agosto de 2014 hasta diciembre de 2020:

- Tarifa de 0.04 USD/kWh por el consumo incremental de hasta 80 kWh/mes para la cocción por inducción.

- Tarifa de cero USD/kWh por el consumo incremental de hasta 20 kWh/mes, para el calentamiento eléctrico de agua. La proyección de un escenario



tendencial BAU del consumo de GLP, en el sector residencial, al año 2035 implica un consumo de energía en GLP equivalente a 12.911,65 kbep.

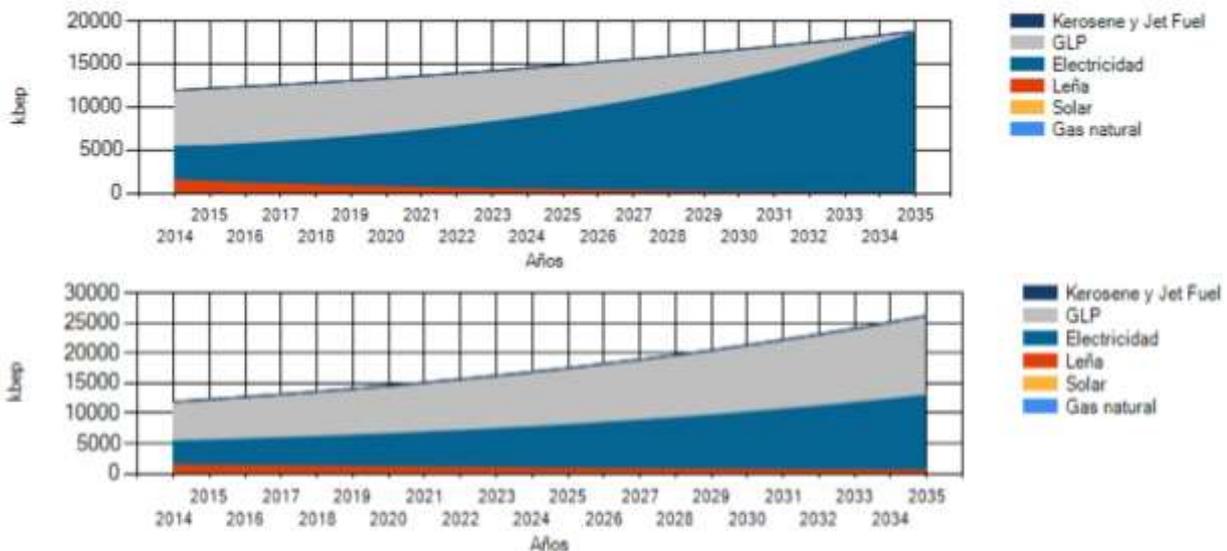
La sustitución de GLP por electricidad permitirá reducir en un 90% las importaciones de GLP, equivalentes a 13 955,08 kbep.

La reducción a cero del consumo de GLP en el sector residencial generaría un desbalance energético, puesto que el GLP, desplazado del sector residencial, ya no se importaría, además, el equivalente energético de la sustitución del GLP deberá ser asumido por el sistema de generación eléctrico nacional. La introducción masiva de cocinas y calentadores eléctricos implicaría la necesidad de la producción adicional de energía eléctrica para cubrir la nueva demanda eléctrica, procedente de nuevas centrales eléctricas a construir, principalmente hidroeléctricas [10]. En el sector residencial, en el año 2035, la demanda total de energía eléctrica se incrementaría de 12 414,41 kbep a 18.574,46 kbep, debido a la sustitución de GLP por electricidad. El volumen de energía necesaria para la sustitución del GLP por energía eléctrica sería igual a 9 909,96 GWh/año, equivalente a 6 140,21 kbep. Al año 2035, en el Ecuador, se deberán generar 23 599,97 GWh para satisfacer la nueva demanda eléctrica, asociada tanto al incremento del consumo eléctrico, en el escenario BAU, como a la sustitución de GLP doméstico. En este sentido, se deberán construir 3 933,32 MW de nuevas centrales eléctricas, funcionando 6000 horas anuales en promedio. Una estrategia de sustitución masiva de cocinas de inducción y calentadores eléctricos permitiría reducir a cero el consumo de GLP del sector residencial, en un escenario simulado de sustitución de GLP con ayuda del software SAME [11]. En la Fig. 6 se muestra la evolución

de la reducción del consumo de GLP, en el sector residencial, y el incremento de energía eléctrica para sustitución del GLP, entre el año 2014 y 2035. El escenario de sustitución del consumo de GLP doméstico reduce a cero su participación en el sector residencial al año 2035. En este sentido, se presenta una comparativa de la participación de las diversas fuentes de energía en el ámbito residencias tanto para el escenario tendencial y el escenario de sustitución de GLP por sistemas tecnológicos de alta eficiencia. Como se puede observar en la tabla 3, la energía requerida en un escenario de sustitución sería inferior a la del escenario tendencial, debido a que los sistemas eléctricos presentan una mayor eficiencia que los sistemas tradicionales de cocción y calentamiento de agua sanitaria.

**Tabla 3: Porcentaje de participación de las fuentes en el caso tendencial y el escenario con sustitución de GLP.**

	Escenario Tendencial	Escenario de sustitución de GLP por nuevas tecnologías
Consumo total de Energía en el sector residencial	27 474 563 kbep	18 574 46 kbep
Porcentaje Consumo eléctrico	43,80%	94%
Porcentaje de consumo de GLP	50,50%	0,00%
Porcentaje de consumo de Energía Solar	2,00%	2,00%
Porcentaje de consumo de gas natural	2,00%	2,00%
Porcentaje de consumo de leña	1,70%	1,70%



**Figura 3. Escenario BAU y escenario de sustitución de GLP por energía eléctrica en el horizonte 2014-2035.**

## 2.4. Integración de Criterios de Arquitectura Bioclimática en la Edificación.

El incremento del consumo de energía eléctrica en el sector residencial se refleja en el aumento del consumo anual por abonado. Así, el consumo de electricidad por abonado del año 2014 de 2 384,14 kWh/año se incrementaría a 3561,46 kWh/año en el año 2035. El sector de la edificación, que incluye tanto edificios residenciales como no residenciales, presenta un elevado potencial de ahorro energético, solamente superado por el sector energético. En Europa, a pesar de que la demanda de energía en los edificios se puede reducir a la mitad, e incluso hasta un 75%, empleando las actuales soluciones e innovaciones tecnológicas, los niveles de rehabilitación, restauración y renovación de edificios se mantienen muy bajos, aproximadamente del 1,2%. Asimismo, los edificios sostenibles pueden reducir en un 50% el consumo de agua y hasta en un 70% los desechos constructivos.

Un importante volumen de ahorro de energía en el sector de la edificación se puede obtener con la reparación y adaptación de edificios antiguos a edificios nuevos de emisiones casi nulas – reducciones mínimas en la demanda de energía de aproximadamente 50-60%, en comparación con niveles anteriores a la rehabilitación, restauración o renovación – y con la construcción de las edificaciones bajo criterios de arquitectura bioclimática, sostenibilidad energética, gestión inteligente de la demanda y óptima integración con las redes de distribución de energía: específicamente de electricidad y calor. En la Unión Europea entre el 75%-90% de los edificios actualmente existentes seguirán funcionando en el año 2050.

Los edificios sostenibles deberán garantizar elevados niveles de confort – confort térmico, calidad del aire, etc. –. Asimismo, se deberán optimizar los programas informáticos de certificación, así como los procedimientos de auditoría energética y acreditación. Existen un conjunto de beneficios adicionales relacionados con una política de implementación de medidas de eficiencia energética e integración de sistemas renovables de generación de electricidad, calor y frío en los edificios: generación de puestos de trabajo, mayor seguridad energética, incremento de la competitividad industrial, mejora de calidad de vida y de la salud, reducción de la pobreza energética.

La Directiva de Eficiencia Energética en los Edificios 2010/31/EU reemplazo a la Directiva 2002/91/EC y establece un marco normativo más ambicioso para mejorar la eficiencia energética de los edificios de la Unión Europea. Esta establece que todos los edificios nuevos deberán ser edificios de consumo de energía casi cero a partir del 31 de diciembre del 2020. Para los edificios públicos, será el 31 de diciembre del 2018 [12]. La arquitectura bioclimática tiene como principal objeto reducir el consumo energético, mediante la máxima captación de energía y control de pérdidas energéticas

que puedan producirse debido al diseño arquitectónico. Para el diseño del edificio, con una buena implementación de arquitectura bioclimática, es importante controlar las pérdidas energéticas. Para poder realizar un buen diseño bioclimático se deberá estudiar la ubicación y los parámetros meteorológicos y geográficos del emplazamiento. La arquitectura bioclimática conlleva la implantación de sistemas de captación solar pasiva, galerías de ventilación controladas, sistemas reguladores de la temperatura y de la humedad. El diseño arquitectónico del edificio tiene como objetivo aprovechar el clima y las condiciones del entorno con el fin de conseguir una situación de confort térmico en su interior, así como, reducir la demanda energética [12]. El aprovechamiento máximo del sol implica una orientación hacia el sur, que optimiza la entrada de radiación solar en invierno, cuando el sol está bajo, y la impide en verano, momento en el cual sobra la energía solar. Un edificio con grandes ventanales orientados hacia el sur y pocas ventanas hacia el norte utiliza alrededor de un 30% menos de energía que un edificio que no está orientado de esta manera.

Los despachos y áreas de trabajo de mayor área se han establecido en contacto con la fachada sur, de este modo, en estas zonas, se reducirá la demanda energética, así como la demanda de iluminación. Otro factor importante de la arquitectura bioclimática, aparte de la captación solar, es el almacenamiento de la misma. Se implantarán materiales de elevada capacidad de absorción térmica, para así almacenar la energía diurna y evitar las oscilaciones de temperatura, durante las horas nocturnas [13].

Tras la aparición de la arquitectura bioclimática se han realizado gran cantidad de proyectos de este tipo de arquitectura, que ha permitido comprobar la viabilidad económica de estos planteamientos, y las grandes ventajas medioambientales y de ahorro a medio y largo plazo. Un estudio sobre el diseño de un edificio de oficinas modelo propuesto por GSA para construir en Manchester por la Consultoría Ingeniería Dubin-Mindell-Bloome evaluó las necesidades energéticas en función de un diseño convencional [14]. Entre las mejoras energéticas propuestas y los ahorros de energía obtenidos las que destacan:

- El incremento de la resistencia térmica de paredes, suelos y techos permite obtener ahorros del 21,5% al 28% en relación al consumo energético de un edificio convencional.
- La utilización de acristalamiento doble mejora un 15% y triple hasta un 21%.
- La reducción de la cantidad de sombra permite obtener ahorros de un 4,5%.
- La reducción del acristalamiento, la proporción de ventanas-pared hasta un 16%.
- La adecuada orientación y la relación longitud-



anchura a 1:1 puede ahorrar de hasta un 13% en relación a edificios convencionales.

La integración de criterios constructivos basados en arquitectura bioclimática permitiría una reducción del 50% del consumo total de electricidad en sistemas de climatización como aire acondicionado y calefactores, que representan el 7,5% del consumo de la energía eléctrica total en el sector eléctrico residencial de al año 2035. En la figura 7, se presenta la comparación del consumo eléctrico residencial del año 2014, considerado año base, con la proyección al año 2035, escenario BAU, y la reducción en el consumo eléctrico por la implementación de criterios constructivos basados en una arquitectura bioclimática. Se observa que el consumo eléctrico por abonado se reduciría de 3561,46 kWh/año a 3472,07 kWh/año, en el año 2035. Es decir, se obtendría una reducción de 89,4 kWh/año por abonado, Fig. 7.

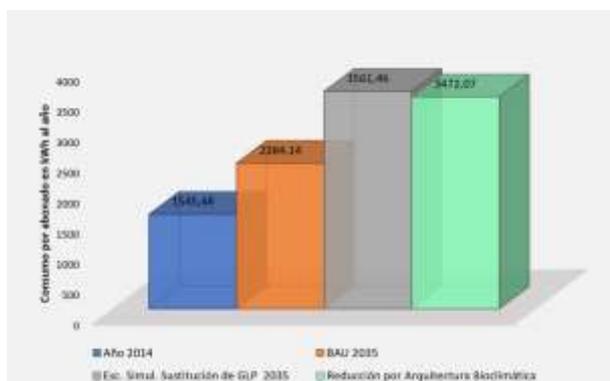


Figura 4: Reducción del consumo eléctrico por abonado debido a arquitectura bioclimática

## 2.5. Reducción del Consumo Energético en Sistemas de Refrigeración

El reemplazo de refrigeradoras de uso doméstico ineficientes por equipos de refrigeración nuevos y eficientes permitirá reducir el consumo eléctrico en el país, así como promover hábitos adecuados de uso racional de la energía. Por otro lado, la integración de la industria nacional en un proceso de renovación tecnológica de equipos proporcionará ingentes beneficios económicos por el ahorro de importaciones y la generación de empleos. Según datos del INEC, tomados de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de Hogares Urbanos y Rurales 2011-2012, ENIGHUR, existen 2 964 148 refrigeradores, representando un índice de penetración del 75,96% en los hogares del Ecuador [15]. En el año 2009, entra en vigencia el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 035:2009 “Eficiencia energética en artefactos de refrigeración de uso doméstico. Reporte de consumo de energía, métodos de prueba y etiquetado” sean de fabricación nacional o importados, comercializados en la República del Ecuador. El mencionado reglamento técnico establece la obligatoriedad de que los equipos de refrigeración doméstica de hasta 850 litros, 30 pies cúbicos aproximadamente, proporcionen información del

consumo energético y clasifiquen la eficiencia del equipo con letras de la A a la G, siendo A el equipo más eficiente y G el menos eficiente. Las refrigeradoras clasificadas con las letras E a G presentan un consumo promedio de 735 kWh/año. Posteriormente, se introduce la primera modificatoria que permite únicamente la comercialización de refrigeradores del tipo A, B y C en equipos menores o iguales a 500 litros, con consumos entre 250 a 450 kWh/año; y de la categoría A, a la D en artefactos mayores a 500 litros. Las refrigeradoras de clase A permiten obtener ahorros promedios de 350 kWh/año en la gran mayoría de equipos de refrigeración. Se estima que el número de refrigeradoras existentes en los hogares del Ecuador que consumen hasta 200 kWh/mes superan 1 380 000 unidades.

El programa RENOVA promueve la sustitución de 330.000 refrigeradoras ineficientes en 5 años a nivel nacional. Hasta el 31 de diciembre de 2014, las Empresas Eléctricas de Distribución han recibido un total de 72 733 solicitudes de posibles beneficiarios del proyecto, realizándose la sustitución de 51145 refrigeradoras a nivel nacional, lo que produce un ahorro aproximado de 33 755,7 MWh al año de electricidad. El consumo promedio en un escenario simulado al año 2035 sería de 3 561,46 kWh/año, debido a la sustitución de GLP por sistemas eléctricos eficientes para la cocción de alimentos y calentamiento de agua. La sustitución de sistemas convencionales ineficientes de refrigeración por sistemas de refrigeración de categoría A permitiría obtener una reducción de aproximadamente el 6,14% del consumo de energía eléctrica. El consumo eléctrico promedio por abonado se reduciría de 3 561,46 kWh/año a 3 342,79 kWh/año, Fig. 8.

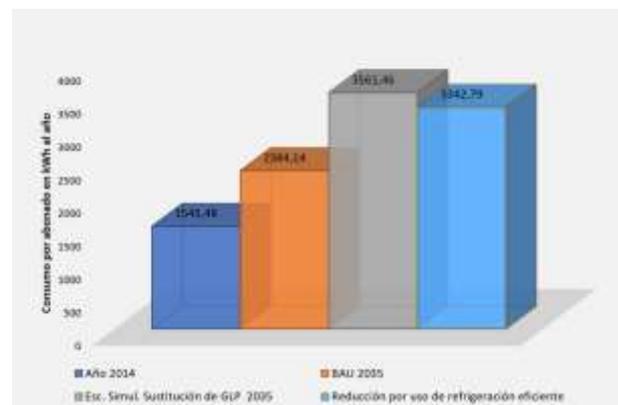


Figura 5. Reducción del consumo energético por la implementación sistemas de refrigeración eficiente.

## 2.6. Reducción del Consumo Energético en Equipos Eléctricos Domésticos.

La masiva instalación de equipos eléctricos domésticos con etiqueta de eficiencia energética A, así como una cultura de consumo energético, basado en la sencillez y sobriedad energética, permitiría importantes ahorros en el consumo eléctrico residencial. Se estima

que el ahorro energético anual de viviendas con electrodomésticos de eficiencia energética A podría alcanzar valores superiores al 50%, comparado con el uso de aparatos antiguos y de reducida eficiencia energética [16]. Por tanto, la masiva integración de electrodomésticos de elevada eficiencia en los hogares ecuatorianos tendrá un impacto muy significativo en la matriz energética nacional y reducirá a necesidad de construir nuevas centrales eléctricas y afectar al medio ambiente, además de reducir la conflictividad social ante la construcción grandes centrales hidroeléctricas.

La sustitución de electrodomésticos de reducida eficiencia por aparato y equipos altamente eficientes, preferentemente de categoría A, permitiría reducir el consumo total de energía eléctrica en un 8,92%. La instalación de electrodomésticos de elevada eficiencia reduciría el consumo total de energía anual por abonado de 3 561,46 kWh/año a 3 243,78 kWh/año, Fig. 9.

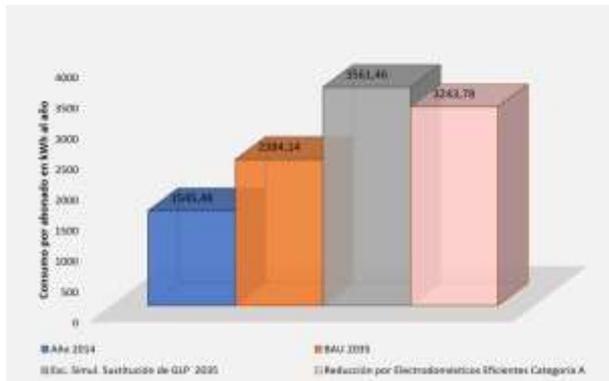


Figura 9. Reducción del consumo energético por la implementación de electrodomésticos eficientes categoría A.

## 2.7. Reducción del Consumo Energético en Iluminación

La iluminación representa el mayor volumen del consumo de energía en las viviendas y edificios del Ecuador. Los sistemas de iluminación deberán garantizar niveles apropiados de iluminación en los espacios, acorde a las condiciones físicas de las personas y a la actividad que desarrollan. Asimismo, en la actualidad existen innovadoras soluciones tecnológicas que implican un menor consumo de energía para iluminar los espacios y una reducción de los costes de mantenimiento y de desechos, debido a una mayor vida útil de los equipos. Por otro lado, la implementación de diferentes estrategias de Reducción y eficiencia del consumo energético como:

- el máximo aprovechamiento de la luz solar
- el control de la luminosidad
- el apagado automático y control del espacio con sistemas de programación horaria y sensores de ocupación
- el establecimiento de un límite máximo de operación

- el uso de cortinas automatizadas
- el uso de iluminarias de alta eficientes basadas en LEDs

Permitiría reducir el consumo total de energía en los sistemas de iluminación hasta un 50% del consumo anual. La implementación de un sistema de iluminación de alta eficiencia, que incluya el máximo aprovechamiento solar, control de luminosidad y horario, límites máximos de operación y el uso de cortinas automatizadas y luminarias LEDs, permitiría reducir el consumo eléctrico residencial por abonado de 3 561,46 kWh/año a 2 881,94 kWh/año. Se obtendría un ahorro equivalente al 19,08 % del consumo total de la energía eléctrica en un escenario con sustitución del GLP por electricidad para la cocción de alimentos en el año 2035, Fig. 10.

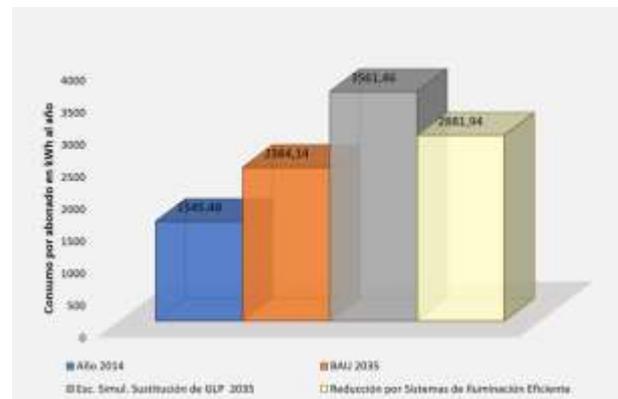


Figura 10. Reducción del consumo de energía por la implementación de sistemas de iluminación inteligente.

## 2.8. Calentamiento de ACS con colectores solares térmicos y electricidad

Ecuador posee excepcionales recursos naturales, por tanto, la energía solar térmica es una excelente opción para la sustitución del consumo de GLP y electricidad en el calentamiento de agua. Una instalación solar para una familia de 4 personas, con una demanda de 40 litros de agua caliente por día y persona, necesitaría de un colector solar plano y una superficie de 3 m<sup>2</sup>, con vidrio simple y superficie selectiva, y con circuito abierto sin intercambiador de calor sería suficiente para cubrir un porcentaje significativo del consumo eléctrico o de GLP para calentamiento del agua. En zonas cálidas como las Islas Galápagos, la costa y Amazonía, hasta 500 m de altura sobre el nivel del mar, la fracción solar de suministro de energía para calentamiento de agua podría superar el 90 % del total. Además, se considera que el calentamiento de agua con energía auxiliar no es necesario en la mayoría de las viviendas, dada la alta temperatura del aire exterior. En cualquier caso, la demanda auxiliar es muy reducida, Tabla 6. En zonas de altura intermedia, entre 500 y 1 500 metros, la fracción solar oscila entre 85 a 90 %. En zonas de mayor altura de la sierra, por encima de los 1 500 metros, la fracción solar de las localidades analizadas se encuentra en un rango de

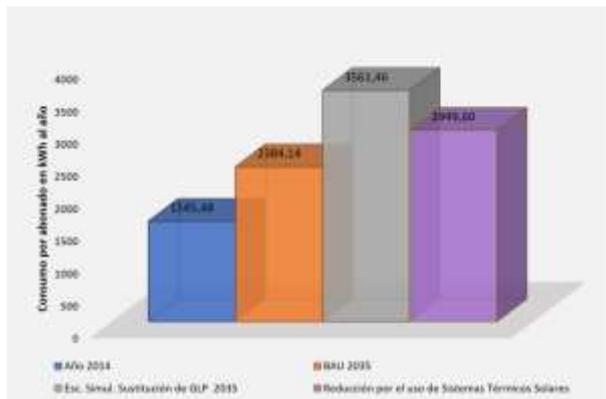


68 y 75 %, exigiendo un sistema auxiliar de calentamiento. El ahorro de energía eléctrica oscila entre 1 100 kWh y 1 200 kWh anuales en zonas cálidas hasta 500 metros sobre nivel del mar. En zonas templadas, entre 500 y 1 500 metros, el ahorro de energía eléctrica varía entre 1 200 kWh y 1 300 kWh anuales. Finalmente, en las ciudades de la sierra, el ahorro de energía convencional es mayor, alcanzando entre 1 300 kWh y 1 400 kWh anuales. La tabla 4, presenta el comportamiento de colectores solares planos en distintas localidades del Ecuador.

**Tabla 4: Consumo eléctrico promedio anual por abonado del sector residencial para diferentes regiones del país**

Localidad	Altura sobre nivel del mar metros	Fracción solar %	Demanda	Demanda	Ahorro con	Energía
			Neta Calor kWh/año	Bruta kWh/año	energía solar kWh/año	eléctrica kWh/año
Barro Alto	6	98	1146	1232	1302	30
Guanoque	6	92	1124	1213	1121	92
Maria	13	97	1110	1194	1155	39
Cayon	35	93	1116	1301	1116	84
Nueva Rocafuerte	265	97	1151	1244	1198	46
Cochano	481	94	1198	1248	1212	36
Tuna	665	81	1245	1318	1087	231
Puyo	960	81	1391	1492	1208	287
Laja	2065	71	1695	1822	1302	520
Cuenca	2530	70	1753	1885	1318	567
Riobamba	2740	68	1837	1973	1337	636
Quito	2787	74	1724	1854	1376	478

De la tabla 6, se puede deducir que, en el Ecuador, el promedio de energía ahorrada con la implementación de sistemas térmicos solares sería de 1010 kWh/año. En algunas provincias del país, especialmente en zonas por encima de los 500 metros sobre el nivel del mar, es necesario disponer de un sistema auxiliar de energía eléctrica para suministrar la demanda no cubierta por el sistema solar. El promedio de consumo de energía eléctrica en los sistemas térmicos solares es aproximadamente de 260 kWh/año. El consumo eléctrico en calentamiento de agua se puede reducir hasta en un 85%, equivalente a una reducción del 11,36% del consumo eléctrico total en una vivienda, Fig. 11. La integración de sistemas solares térmicos de calentamiento de agua en las edificaciones permitiría reducir el consumo eléctrico residencial por abonado de 3 561,46 kWh/año a 2 949,60 kWh/año.



**Figura 611: Reducción del consumo de energía por el uso de sistemas térmicos solares.**

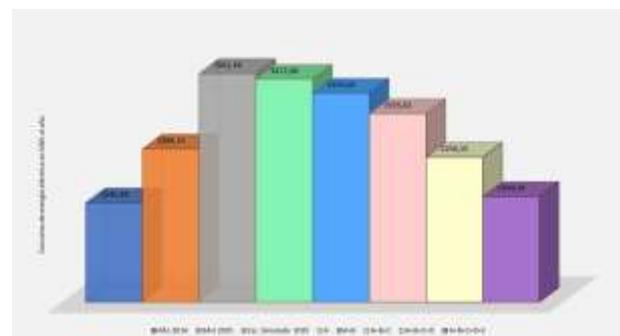
### 3. RESULTADOS

Una vez calculados los porcentajes de reducción del consumo eléctrico, con las diferentes estrategias de

Reducción del consumo de energía, se puede concluir que la implementación de todas las estrategias representa una reducción total de 1 917,12 kWh/año por abonado. En la tabla 6 se puede observar la reducción de la implementación de las diferentes estrategias de Reducción energética en el sector residencial.

En la Fig. 11, se presenta la evolución del consumo eléctrico residencial, con la implementación de las diferentes estrategias de Reducción energética para las viviendas al año 2035. Se observa que en el año base, año 2014, el consumo eléctrico promedio por abonado es igual a 1 545,48 kWh/año. En el escenario tendencial BAU proyectado al año 2035, el consumo eléctrico se incrementaría en 838,66 kWh/año alcanzando en el año 2035 un consumo de 2 384,14 kWh/año. Es importante indicar, que en el escenario BAU no se realiza ningún tipo de implementación de planes de eficiencia energética o integración de energías renovables.

En el escenario simulado, se considera una estrategia a largo plazo de sustitución de sistema de GLP por cocinas y calentadores de agua eléctricos de la Fig. 12, se observa que el consumo eléctrico promedio por abonado se incrementa hasta alcanzar 3 561,46 kWh/año. El incremento de consumo eléctrico experimentado hacia el año 2035, se explica por el reducido número de abonados que en la actualidad han sustituidos sus cocinas de GLP por cocinas de inducción. La implementación de una serie de propuestas de Reducción en el sector de edificaciones, en un horizonte desde al año 2014 al 2035, permitiría obtener una reducción del consumo eléctrico del 53,83%. La reducción del consumo energético previsto se basaría en la implementación de estrategias de eficiencia energética entre las que destacan: arquitectura bioclimática, refrigeradoras eficientes de categoría A, electrodomésticos eficientes, sistemas de iluminación eficiente y la implementación masificada de luminarias LEDs, así como, la integración de sistemas solares térmicos en el calentamiento de agua. Estas estrategias permitirían reducir el consumo eléctrico de 3 561,46 kWh/año a 1 644,34 kWh/año por abonado, Fig. 12. Esta importante reducción en el consumo eléctrico residencial evitaría la construcción de nuevas centrales eléctricas.



**Figura 12: Evolución del consumo de electricidad en los diferentes escenarios y con las diferentes estrategias de Reducción.**

A nivel nacional, el incremento del consumo eléctrico en el escenario BAU, adicionado al escenario de



sustitución del consumo de GLP en el sector residencial, proyectado al año 2035, requeriría un consumo eléctrico adicional de 23 599,97 GWh. Ese incremento de volumen de energía eléctrica implicaría la construcción de centrales eléctricas con una potencia instalada equivalente a 3 933,32 MW, una potencia instalada equivalente a construir 2,6 centrales de Coca Codo Sinclair al año 2035.

Las estrategias de la Reducción del consumo eléctrico permitirían obtener una reducción en el consumo eléctrico de 2 9978,14 GWh a 13 841,01 GWh al año 2035. La reducción total sería de 16 137,13 GWh. Ese volumen de energía eléctrica reducida evitaría la construcción de 2 689,52 MW de nuevas centrales eléctricas, equivalentes a 1,79 Coca Codo Sinclair, figura 13. Para satisfacer la demanda total de energía eléctrica al año 2035, incluidas todas las propuestas de Reducción simuladas, en el Ecuador, se deberá suministrar 7 472,9 GWh. Por tanto, será necesario construir 1 245,48 MW de nuevas centrales hidroeléctricas tan sólo para satisfacer el incremento de la demanda eléctrica residencial, en el escenario BAU, y la sustitución de GLP doméstico, Fig. 13.

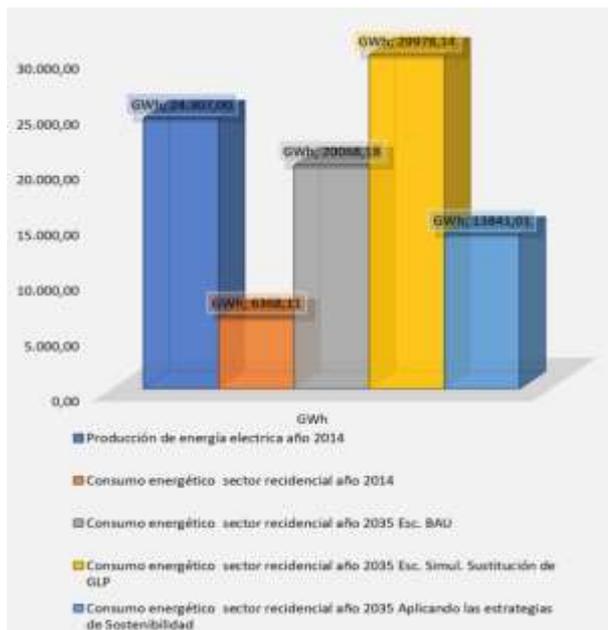


Figura 13: Evolución del consumo de electricidad en los diferentes escenarios y con las diferentes estrategias de Reducción.

Una vez calculados los porcentajes de reducción del consumo eléctrico, con las diferentes estrategias de Reducción del consumo de energía, se puede concluir que la implementación de todas las estrategias representa una reducción total de 1 917,12 kWh/año por abonado. En la tabla 5 se puede observar la reducción de la implementación de las diferentes estrategias de Reducción energética en el sector residencial.

Tabla 5: Consumo total de energía eléctrica en escenario con sustitución del GLP, año 2035: 3561.46 kWh/año

Estrategias de Reducción	Porcentaje de reducción en el consumo total de electricidad [%]	Ahorro de energía eléctrica en kWh/año	Reducción del Consumo Total en kWh/año
A) Arquitectura Bioclimática	2,51	89,41	3472,06
B) Refrigeradoras Eficientes A	6,14	218,63	3253,43
C) Electrodomésticos eficientes	8,92	317,81	2935,63
D) Iluminación LED	19,08	679,48	2256,15
E) ACS Solar	17,18	611,81	1644,34
TOTAL	53,83	1917,12	1644,34

#### 4. CONCLUSIONES

El consumo de energético del sector residencial presenta una importante participación de recursos fósiles, debido al consumo de GLP. La implementación de cocinas de inducción y calentadores eléctricos, en el sector residencial, permitirá al país reducir el elevado volumen de importaciones de GLP. La sustitución de cilindros de GLP en el sector residencial implicaría un significativo incremento en la generación de energía eléctrica proveniente de centrales hidroeléctricas. La implementación de estrategias de Reducción en el sector de la edificación permitiría disminuir el consumo total de energía eléctrica hacia el año 2035, evitando la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas y reduciendo el consumo eléctrico promedio anual por abonado en un 53,83%.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta, gracias a la financiación del Proyecto de Investigación PROMETEO: "Evaluación Técnico-Económica y Medioambiental de la Integración de Energías Renovables y Técnicas de Diseño y Gestión Eficiente en Sistemas de Edificación y Transporte Sostenibles Aplicación Práctica a la Ciudad de Ambato", y a la Dirección de Investigación y Desarrollo, DIDE de la Universidad Técnica de Ambato por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta gracias a la financiación del proyecto "Diseño e Implementación de un Sistema de Monitoreo Remoto para las Instalaciones Fotovoltaicas Aisladas de las Comunidades Amazónicas en el Ecuador".

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Villacis y C. Daniela, «Estadística Demográfico en el Ecuador: Diagnostico y Propuestas,» INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito-Ecuador, 2012.



- [2] D. Delgado, «Balance Energético Nacional 2015,» Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Quito, Ecuador, 2015.
- [3] J. Guamán, C. Vargas y A. Ríos, «EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO EN DIFERENTES ESCENARIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS EFICIENTES DE CALENTAMIENTO DE AGUA EN EL ECUADOR,» Revista Ingenius, Quito- Ecuador, 2016.
- [4] J. E. Martin y S. d. Schiller, «Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Vivienda del,» ISEREE, Quito-Ecuador, 2013.
- [5] P. Merizalde y J. L. Cortázar, «REGLAMENTO ACTIVIDADES DE COMERCIALIZACION GAS LICUADO DE PETROLEO,» LEXISFINDER, Quito- Ecuador, 2015.
- [6] P. Vaquez, «Plan Maestro de Electrificación 2012-2021,» Mministerio de Electricidad y Energía Renovable, Quito-Ecuador , 2015.
- [7] I. Miño, A. Lobato y L. Jerko, «Simulaciones energéticas como herramienta para evaluación térmica de las viviendas sociales del Ecuador: Caso Yachay,» *Primer Congreso Internacional y Expo Científica*, pp. p. 1-8, 2013.
- [8] A. D. Torres, «Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo lineal, geométrico y exponencial,» *CIDE digital*, pp. p. 142-160, 2011.
- [9] INEC, «En el 2050 seremos 23,4 millones de ecuatorrionos,» EcuadorenCIFRAS, Quito, 2012.
- [10] B. d. Waziers y J. Tejada, «Infraestructura para el desarrollo,» BID, Banco Internacional de Desarrollo, Quito-Ecuador, 2016.
- [11] G. Fabio, «Manual de Estadísticas Energéticas,» pág. 170-176., 2015.
- [12] L. A. M. Riascos y E. Palmiere, «Energy Efficiency and Fire Prevention Integrations in Green Buildings,» *IEEE America Latina*, pp. 2608-2615, 2015.
- [13] M. F. A. F. A. Jawad Lotfi, «Overview of home energy management systems architectures and techniques,» *Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2015 3rd International*, 2015.
- [14] Centro de Investigación del Medio Ambiente, “Buenas prácticas en la construcción: técnicas y recursos cómo se diseña y se construye un edificio sostenible”, Vicepresidencia de Cantabria, 2011
- [15] INEC, «Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los hogares urbanos y rurales,» 2011- 2012, pp. Pagina 13-16, 212.
- [16] F. G., «Manual de Estadísticas Energéticas, Organización Latinoamericana de Energía,» pág. 170-176., 2015.



**Jesús Guamán Molina.** Nació en Latacunga, Ecuador en 1990. Recibió su título de Ingeniero Electrónico y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato en el año 2015. Es Investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. Actualmente se encuentra cursando sus estudios de posgrado en el Escuela Politécnica Nacional en la Maestría de Energía Eléctrica mención Smart Grid.



**Carlos Vargas Guevara.** Nació en Ambato, Ecuador en 1991. Recibió su título de Ingeniero Electrónico y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato en el año 2015. Es Investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. Actualmente se encuentra cursando sus estudios de posgrado en el Escuela Politécnica Nacional en la Maestría de Energía Eléctrica mención Smart Grid.



**Alberto Ríos Villacorta.** Ingeniero Eléctrico en Sistemas y Redes Eléctricas por el Instituto Politécnico de Bielorrusia, 1993. Master en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid, 2004. Dr. Ingeniero Eléctrico por la Universidad Carlos III de Madrid, 2007. Profesor Ayudante de la Universidad Carlos III de Madrid, 1998-2001. Profesor Adjunto de la Universidad Europea de Madrid, 2001-2014. Director Técnico de Energy to Quality, Laboratorio de Ensayos de Turbinas Eólicas y Simulaciones de parques Eólicos, 2005-2006. Director del Máster Oficial de Energías Renovables de la Universidad Europea de Madrid, 2007-2011. Actualmente es profesor principal de la Universidad Técnica de Ambato en la facultad de Ingeniería en sistemas electrónica e Industrial