

## Evaluación del Impacto Económico en Diferentes Escenarios de Implementación de Tecnologías Eficientes de Calentamiento de Agua en el Ecuador

J. Guamán M. García D. Guevara A. Ríos

Universidad Técnica de Ambato

E-mail: [jguaman0585@uta.edu.ec](mailto:jguaman0585@uta.edu.ec); [a.rios@uta.edu.ec](mailto:a.rios@uta.edu.ec); [marioggarcia@uta.edu.ec](mailto:marioggarcia@uta.edu.ec); [dguevara@uta.edu.ec](mailto:dguevara@uta.edu.ec)

### Resumen

En el presente artículo se presenta una metodología de análisis comparativo del comportamiento energético, económico y medioambiental de los diferentes tipos de tecnologías existentes de calentamiento de agua para usos domésticos. Asimismo, se evalúa el impacto económico de la integración de sistemas de calentamiento de agua en diferentes escenarios energéticos futuros en el Ecuador. El artículo se centra en las tecnologías utilizadas en los últimos años para el calentamiento de agua. Evalúa el impacto económico en el sistema energético debido a la sustitución y reducción del consumo de energía fósil importada, y de la reducción de emisiones contaminantes. Asimismo, se evalúa el impacto en el suministro eléctrico de las tecnologías de calentamiento de agua que sustituyen a sistemas menos eficientes y dependientes de recursos fósiles. Finalmente, se analiza el impacto económico y medioambiental de la integración masiva de instalaciones solares térmicas en el sistema energético y en el sistema eléctrico para diferentes escenarios de futuro.

**Palabras clave**— Factor de Eficiencia Energética, Sistemas Solares Térmicas, Inducción Magnética.

### Abstract

The present article describes the different technologies and domestic water heating. A methodology for benchmarking the energy, economic and environmental performance of different types of existing technologies domestic water heating is presented. The economic impact of the integration of water heating systems in different energy futures in Ecuador is also evaluated. The article focuses on the technologies used in recent years for water heating. Assesses the economic impact on the energy system due to substitution and reduction in consumption of imported fossil fuels, and reducing emissions. The impact on the power of the water heating technologies that replace less efficient systems dependent on fossil resources are also evaluated. Finally, economic and environmental impact of the massive integration of solar thermal systems in the energy system and the electrical system for different future scenarios analyzed.

**Index terms**— Energy efficiency, power factor, Solar Thermal Systems, Induction.

Recibido: 20-10-2015, Aprobado tras revisión: 24-12-2015.

Forma sugerida de citación: Guamán, J.; Guevara, D; Ríos, A. (2016). "Evaluación del Impacto Económico en Diferentes Escenarios de Implementación de Tecnologías Eficientes de Calentamiento de Agua en el Ecuador". Revista Técnica "*energía*". No. 12, Pp. 270-283.

ISSN 1390-5074.

## 1. INTRODUCCIÓN

El proceso de transformación de la matriz energética impulsado por el actual gobierno del Ecuador exige la realización de estudios comparativo de la integración de diferentes tecnologías de calentamiento de agua para usos domésticos. Estos estudios proporcionarán al Ministerio de Electricidad y Energías Renovables y otros organismos del gobierno la información necesaria para la adopción de políticas y estrategias de ahorro y eficiencia energética en los sistemas domésticos de agua caliente sanitaria. El cambio de la matriz energética es una propuesta que desarrolla el actual gobierno con el objetivo de reducir el consumo innecesario de recursos fósiles no renovables en país [1]. La introducción de diversas tecnologías para la producción de agua caliente sanitaria permite acoger las experiencias de la implementación de estas tecnologías en varios países del mundo.

En el presente artículo se describen las características técnicas y energéticas de cada una de las tecnologías de calentamiento de agua. Por otro lado, se evalúa el impacto económico de la integración de tecnologías eficientes en sistemas de agua caliente sanitaria y su aplicabilidad en los sectores residenciales [2]. Asimismo, se analiza la reducción de emisiones contaminantes en los diferentes escenarios propuestos para evaluar la mejor tecnología de implementación en el Ecuador. El objetivo del artículo es tener la información necesaria del consumo energético, emisiones de CO<sub>2</sub> y el coste económico de la implementación de cada una de las tecnologías utilizadas hoy en día en el Ecuador.

El siguiente artículo está estructurado de la siguiente manera: en el apartado dos, se describe la situación actual de los distintos sistemas de producción de agua caliente alrededor del mundo. El apartado tres, se realiza una descripción de los conceptos básicos de los sistemas de calentamiento y sus fuentes de energía y las tecnologías empleados para la generación de calor. En el apartado cuatro, se presenta un análisis del coste económico actual de la electricidad y el gas GLP. En el apartado cinco se presenta el concepto del factor de eficiencia de los sistemas agua caliente, indispensable para el cálculo del consumo energético de los sistemas. Finalmente, se presentan diferentes escenarios de integración de las tecnologías de calentamiento de agua y se analiza su impacto energético, económico y medioambiental para el Ecuador, en un horizonte de 25 años.

## 2. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA

Existe una gran variedad de tecnologías de calentamiento del agua sanitaria, ACS, entre las que destacan: tecnologías basadas en recursos fósiles, dispositivos eléctricos, calentadores solares y sistemas de inducción magnética. Los combustibles fósiles, gas natural y butano, son las fuentes energéticas más empleadas en sistemas de calentamiento de agua, juntos suman un 66% del total de la energía consumida para estos usos. La energía eléctrica apenas cubre el 22% del consumo energético en los sistemas de calentamiento de agua. Las tecnologías renovables, especialmente los sistemas solares, se han convertido en una alternativa energética limpia y sostenible para usos domésticos. No obstante, su introducción es lenta y depende de las variaciones de los precios de los recursos fósiles. En [3], se presenta un análisis del consumo energético del sector residencial en España. Según los datos del estudio anteriormente mencionado, en España, apenas el 1% de los sistemas de calentamiento de agua, individuales y colectivos, en viviendas residenciales, emplean sistemas solares térmicos. En Nueva Zelanda, el consumo de energía eléctrica en sistemas de agua caliente sanitaria es elevado, debido a que el 88% de la población utiliza la electricidad como fuente principal para el calentamiento de agua.

La demanda promedio de agua caliente en un hogar es de 40 litros por persona, representando un consumo energético del 30% al 40% en el hogar, convirtiéndose en el segundo gasto más importante en los hogares de los países desarrollados [5,6]. En Estados Unidos, el 20% de la energía consumida al año se dedica a los sistemas de calentamiento de agua sanitaria. Los sistemas de calentamiento de agua son los que más energía eléctrica consumen al año después de los sistemas de calefacción de aire. La mayoría de los hogares de Estados Unidos usan fuentes de energía como el gas natural y la electricidad [7].

Hoy en día, una de las alternativas para reducir el consumo eléctrico en sistemas de calentamiento de agua domésticos son los sistemas solares térmicos, SST. Sin embargo, los sistemas auxiliares de los SST de ACS consumen energía eléctrica para suministrar el déficit de energía calórica del agua [4]. En varios países del mundo se han implementado leyes ambientales y reformas energéticas que incentivan el uso de sistemas solares térmicos. Según datos de la organización

internacional Solar Heat Worldwide, hasta el año 2012, en 58 países se ha incentivado la introducción de sistemas solares térmicos, representando el 95% de colectores instalados a nivel mundial y una población aproximada de 4,4 mil millones de habitantes, equivalente al 63% de la población mundial [8].

Los sistemas de energía solar térmica han alcanzado una gran popularidad en tan solo unos años. La mayor parte de los captadores solares se utilizan con fines de calentamiento de agua para el uso doméstico en los hogares. La alta sustentabilidad de los sistemas solares térmicos de ACS ha generado una fuerte demanda en el mercado internacional. Los sistemas de calefacción solar son utilizados en países con bajas temperaturas en determinadas estaciones del año. Los SST tienen una gran acogida en países como China, Australia, Nueva Zelanda y en un importante número de países del hemisferio norte del planeta [3,9]. Según datos presentados en [10], los principales países en el aprovechamiento de la tecnología solar térmica son China con un 75 %, seguidos por Turquía y Alemania con un 4 %, India y Brasil con un 2% y Japón, Israel, Australia y Grecia con apenas el 1% del total de los sistemas solares térmicos instalados a nivel mundial. Estos países presentan un índice de crecimiento del 85% anual en los últimos años, Fig. 2.

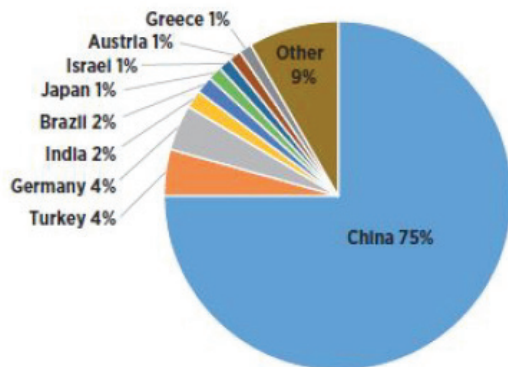


Figura 1: Porcentajes de uso de sistemas solares, año 2012, [10]

En el año 2013, el 94% de la energía proporcionada por los sistemas de energía solar térmica se empleó para la generación de agua caliente sanitaria, principalmente para los sectores residenciales. El 84% correspondió a casas unifamiliares y el 10% a aplicaciones más grandes como casas multifamiliares, hoteles y escuelas. Mientras que la calefacción de piscinas tuvo una participación del 4% y el 2% restante se empleó en sistemas mixtos [11]. En la Fig. 2, se presenta el porcentaje de uso de agua caliente sanitaria

utilizada por los diferentes sectores anteriormente mencionados.

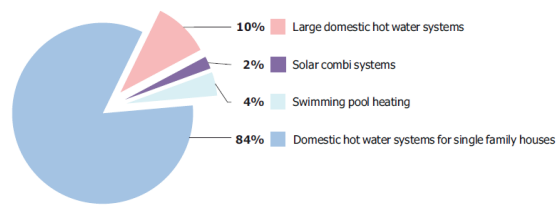


Figura 2: Aplicación de agua caliente sanitaria proporcionado por sistemas solares térmicos

Datos presentados en [11], revelan que el uso de nuevas tecnologías, como sistemas solares térmicos y calentadores eléctricos, permite un ahorro energético de 314 TWh, equivalente a 33.7 millones de toneladas de petróleo, y a evitar la emisión de 109 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. El 90% de la reducción de las emisiones contaminantes fue proporcionado por instalaciones solares térmicas y el 10% restante por sistemas combinados.

En el Ecuador, en los últimos años, la idea de sustituir recursos fósiles por recursos renovables es el eje principal para la realización de grandes proyectos en el país. Uno de los proyectos nacionales más emblemáticos, actualmente en ejecución, es el cambio de las cocinas a gas por cocinas de inducción. Asimismo, una de las líneas principales de actuación de la Secretaria de Energía Renovable y Eficiencia Energética del Ecuador es el aprovechamiento de la energía solar térmica para el calentamiento de agua [12].

### 3. TECNOLOGÍAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA

Los sistemas de agua caliente se encargan de transformar un tipo de energía en energía calorífica la que se traslada a un fluido, en este caso el agua [13]. Fue Hugo Junkers ingeniero alemán que hace más de 100 años, diseñó un calorímetro, para cuantificar el valor de una kilocaloría. Este calorímetro no era más que un serpentín de cobre por la cual circulaba agua calentada por la combustión de gas [14].

La energía calorífica tiene un alto coste económico y medio ambiental. El sistema de agua caliente sanitaria, ACS, se encarga de proporcionar agua caliente para el uso diario, como el aseo personal y la limpieza de la casa. El objetivo de estos sistemas es calentar el agua para su posterior distribución por los caudales en el interior de una vivienda respondiendo la demanda del usuario [15]. Los sistemas de agua caliente sanitaria se clasifican en instantáneos o de acumulación y estos pueden ser:

- Unitarias: Servicio de ACS a un punto de consumo.
- Individuales: Servicio de ACS a uno o varios puntos de consumo pertenecientes a un solo usuario.
- Colectivos: Servicio de ACS a varios puntos de diferentes usuarios.

Las fuentes energéticas más usadas en los sistemas de calentamiento de agua son:

- Combustión sólida: Leña o carbón
- Gasóleo: Todo tipo de gas como gas licuado de petróleo (GLP), gas natural (Metano), Butano, Propano
- Energía solar: Colectores planos y tubos de vacío.
- Electricidad: Bombas de calor, resistencia eléctrica y sistemas de inducción magnética.

Las tecnologías más empleadas para el calentamiento de agua se describen a continuación.

**Las calderas de combustión.** Estos sistemas utilizan la leña o el carbón para generar calor en la caldera para luego trasladarla al agua que está en su interior.

**Los sistemas de gas.** Los sistemas de gas utilizan esta fuente de energía para generar calor, esta energías calienta la caldera o el circuito por donde circula el agua fría.

**Los sistemas eléctricos.** En estos sistemas se utiliza la electricidad como fuente de energía para la generación de calor, existen dos tecnologías que permiten el calentamiento del agua:

- Los sistemas de resistencia eléctrica, funcionan al circular una corriente por un electrodo, este disipa la potencia en forma de calor el que se traslada al agua.
- Los sistemas de inducción, esta nueva tecnología ha tenido una gran penetración en el ámbito doméstico. Los sistemas de inducción generan un campo magnético variable, que al entrar en contacto con material metálico genera corrientes parásitas, causando el calentamiento rápidamente. El material traslada el calor al agua por convención.

















**Los sistemas solares térmicos, SST.** Los sistemas térmicos constan de un conjunto de equipos y componentes que permiten aprovechar

la energía solar para la producción de ACS en aplicaciones domesticas [16, 17]. Hay dos tipos de sistemas solares térmicos:

- Los sistemas solares térmicos de termosifón, estos sistemas se caracterizan por ser sistemas sencillos y económicos, puesto que estos no utilizan bombas ni sistemas de control.
- Los sistemas de circulación forzada, son sistemas complejos, que se caracterizan fundamentalmente por disponer de sistemas de control avanzados.

En la Tabla 1, se presenta una clasificación de los sistemas de calentamiento de agua por el tipo de tecnología y fuente de energía.

**Tabla 1: Clasificación de sistemas de calentamiento de agua según su fuente, tecnología y eficiencia**

Sistemas de agua caliente							
Combustión sólida		Gasóleo		Electricidad		Energía solar	
							
Leña	Carbón	Gas natural	GLP	Resistencia	Inducción	Paneles planos	Tubos de vacío
							
Caldera de Leña	Caldera de carbón	Calentador de gas Natural	Calentador de gas LP	Termo Eléctrico	Sistema de inducción	Termo sifón	Acumulación forzada
Eficiencia							
40%	60%	45%	55%	65%	95%	50%	70%

El uso de diferentes fuentes de energía tiene como fin mejorar la eficiencia energética en el proceso de calentamiento de agua para el uso doméstico [18]. La mejora del rendimiento energético de las tecnologías de calentamiento de agua tiene una significativa repercusión en el consumo energético y en el coste económico para los usuarios [2]. Los sistemas de agua caliente sanitaria existentes hoy en día presentan diferentes niveles de eficiencia, como se puede apreciar en la Tabla 1.

De la tabla 1, se deduce que la eficiencia de los sistemas de inducción es muy superior a los sistemas solares, eléctricos y convencionales, basados en gas o combustibles fósiles. La eficiencia de los sistemas de inducción es del 90 %, mientras que los restantes sistemas de calentamiento existentes no superan el 65% de eficiencia. Los calentadores

de inducción permiten un mejor aprovechamiento de la energía empleada. Los sistemas solares de calentamiento, con menor eficiencia que los sistemas de inducción magnética, aprovechan una energía renovable, limpia e inagotable. Una de las desventajas que presentan los sistemas de calentamiento solar térmico es el elevado tiempo de calentamiento y la necesidad de disponer de un sistema auxiliar para satisfacer la demanda de agua caliente en los hogares. Los sistemas auxiliares de los SST pueden ser de gas o eléctricos.

El Departamento de Energía de los Estados Unidos de América estimó, en diversos estudios, las eficiencias de sistemas de cocción domésticas [19]. Una cocina de GLP presenta una eficiencia del 40 % frente a un 74 % y 84 % de las cocinas eléctricas y de inducción, respectivamente. Así, el consumo mensual de una cocina de inducción de 100 kWh es comparable al consumo de un cilindro de 15 kg de GLP, equivalente a 209 kWh/mes. Los sistemas de inducción hoy en día tienen una eficiencia aproximada del 95 % con respecto a los sistemas tradicionales.

Una de las principales ventajas de los sistemas de inducción es la alta eficiencia energética que estos presentan. Por ejemplo, calentar 1 litro de agua de 20°C a 95°C implica un tiempo de 4 minutos y 46 segundos y un consumo energético de 225 Wh para un sistema de inducción. En tanto, para un calentador eléctrico y un calentador a gas son necesarios 9 minutos con 50 segundos y 8 minutos con 18 segundos, respectivamente. Calentar el agua con electricidad o con GLP exige no solo un tiempo elevado de calentamiento sino también un mayor consumo energético.

Por otro lado, para calentar 1 litro de agua, en las condiciones anteriormente indicadas, es necesario un consumo energético de 320 Wh para el calentador eléctrico y 390 Wh para el calentador de gas. Se deduce, por tanto, que los sistemas de inducción para calentamiento de agua son más rápidos, más eficientes y reducen significativamente el consumo de energía eléctrica [20].

#### 4. SUBVENCIÓN AL USO GLP Y ENERGÍA ELÉCTRICA EN SECTORES RESIDENCIALES

En el Ecuador, debido a la diversidad de sistemas de calefacción existentes, es pertinente la realización de un estudio comparativo de las características técnicas, económicas y energéticas

de las diferentes tecnologías de calentamiento, que permita determinar el sistema energéticamente más eficiente y más económico [21].

En el Ecuador, los sistemas más utilizados para la generación de agua caliente sanitaria son los sistemas eléctricos y de combustión de GLP. En los últimos años, se ha planteado políticas estratégicas de sustitución de recursos fósiles por recursos renovables. Por ejemplo, se ha iniciado un proceso a escala nacional de sustitución de cocinas de gas por cocinas de inducción. Asimismo, el aprovechamiento de la energía solar térmica para el calentamiento de agua permite reducir el consumo de recursos fósiles [22]. Existen varios proyectos de integración de sistemas solares térmicos en viviendas unifamiliares del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, pero no existe un plan nacional de promoción y fomento de instalaciones solares para el calentamiento de agua. En el año 2005, la encuesta de condiciones de vida realizada por Instituto Nacional de Estadística y Censos permitió estimar la cantidad de gas consumida para el uso doméstico. Con una muestra de 13.581 hogares, se determinó que el número promedio de cilindros de gas utilizados al mes para las diversas actividades domésticas por hogar son: 1,18 para cocinas, 1,25 para calefones de agua y 3,58 para otros usos [23]. En la Tabla 2, se presenta la demanda mensual por hogar.

**Tabla 2: Demanda mensual de gas por hogares [23]**

Muestra (*) cilindros de 15 kilos	
Cocina	11980,7236
Calefón	570,402
Otros Usos	2858,85482
Total	15409,9804

\* Fuente: ECV Quinta Ronda 2005-2006.

\* Fuente: Estimación de Cordes a Base de ECV.

De la Tabla 2, se puede apreciar que el consumo de gas para el calentamiento de agua es la mitad que para la cocción de alimentos en los hogares del Ecuador.

El Ecuador tiene como objetivo incrementar en un 90% la generación de electricidad mediante energía renovable hasta el 2017 y la generación de energía hidroeléctrica hasta aproximadamente 4,2 GW en el año 2022. La generación de un gran volumen de energía renovable permitirá disminuir los costes de la energía eléctrica en el país [24].

El coste económico de la fuente de energía para la generación de calor es uno de los parámetros más importante en la elaboración de los escenarios de integración económica de tecnologías de calentamiento de agua. En el Ecuador, actualmente, existen alrededor de un millón de duchas eléctricas, que presentan consumo energético de 55,6 kWh al mes, es decir, 1,8 kWh por día, según la Empresa Eléctrica de Quito. Mientras, los calefones que utilizan GLP superan las 180 mil unidades, con un consumo promedio de 1,5 a 2 cilindros de GLP de 15 kilogramos al mes en el sector residencial. En la fig. 3, se presenta los segmentos de mercado del GLP en el Ecuador y sus diferentes precios [25].

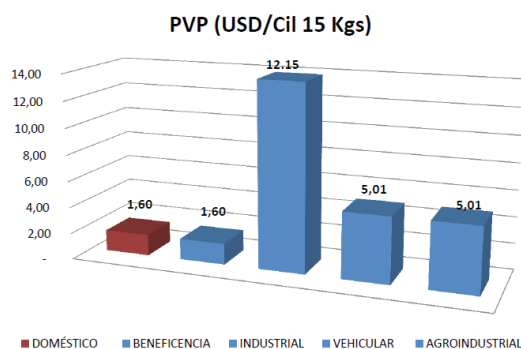


Figura 3: Diferencia de precios del GLP por segmentos de consumo [24]

El precio de venta al público del cilindro de 15 kilogramos de GLP para uso doméstico es de 3,00\$, mientras que el precio de la tarifa eléctrica residencial es de 0,096\$ por kWh [25, 26]. El gobierno del Ecuador subsidia el precio de venta al público de GLP y electricidad para tarifas residenciales. Lo que implica un elevado gasto de subvención social para el Estado ecuatoriano. Asimismo, existe la denominada “Tarifa de Dignidad” para los usuarios que no sobrepasen los 110 kWh al mes en el consumo eléctrico con un precio de 0,04\$ por kWh, mientras que el costo para personas que sobrepasen los 110 kWh la tarifa es de 9,6 centavos de dólar por kWh. En el año 2013, en [26], la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE, publicó un informe sobre políticas de subsidio a los combustibles. En ese documento, se indica que el precio del GLP en Latinoamérica tiene un costo promedio residencial o domestico de aproximadamente 18,61 dólares por bombona de 15 kilogramos, en la Fig. 4 se presenta el coste del gas en el Ecuador y en países vecinos [26, 27].

### EN PAÍSES VECINOS

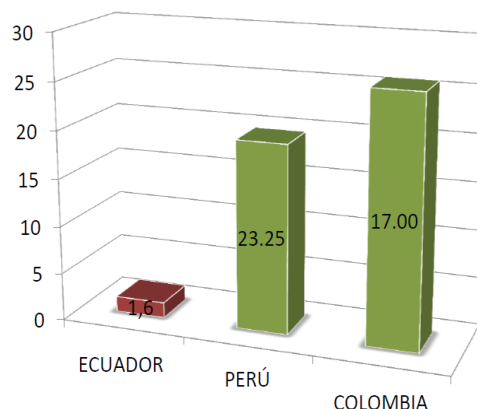


Figura 4: Diferencial de precios GLP doméstico en países vecinos [24]

En párrafos anteriores, los datos presentados indican que el Estado proporciona una subvención de 500 millones de dólares anuales en energía eléctrica y un estimado de 800 millones de dólares en GLP, obteniéndose un subsidio total de más de 1300 millones de dólares anuales [27]. Además, se debe incluir las importaciones de gas y electricidad que realiza el Estado para satisfacer la demanda de electricidad y GLP para uso domésticos de la población ecuatoriana.

Existe una gran preocupación por parte del Gobierno en iniciar un proceso de transformación del modelo energético actual. La implementación de innovadoras políticas de sustitución del consumo de GLP doméstico por energía eléctrica permitirá un significativo ahorro de energía. La reducción de consumo de GLP evitará la importación de millones de barriles de derivados de petróleo y el ahorro económico de la reducción de los subsidios al GLP permitirá abordar importantes proyectos en infraestructuras – salud, educación, vivienda, vialidad y seguridad –. Cada dólar de GLP subsidiado implica decenas de dólares que se dejan de invertir en el proceso de transformación de la matriz productiva del país.

El actual gobierno del Ecuador tiene como uno de sus ejes principales de desarrollo la transformación de la matriz energética. En el Nacional Plan del Buen Vivir, en el numeral 7.7, dentro de las políticas y lineamientos estratégicos, asociados a la promoción de la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental, se establecen las siguientes acciones:

- a) Implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía.
- b) Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.

Por tanto, es de especial importancia realizar una evaluación del impacto energético, económico y medioambiental en diferentes escenarios de implementación de tecnologías eficientes de calentamiento de agua en el Ecuador, que permitan aportar información para la implementación de mecanismos asociados las políticas y lineamientos estratégicos, especificados en el Plan del Buen Vivir 2013-2017 [12].

## 5. EFICIENCIA EENRGÉTICA DE LOS SISTEMAS DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Uno de los parámetros de clasificación de los sistemas de agua caliente sanitaria es el factor de eficiencia energética, empleado para la validación de los actuales estándares de fabricación. El factor de eficiencia energética permite evaluar la eficiencia general de los sistemas de calentamiento de agua y se define como la relación entre la producción de energía calórica del agua y la cantidad total de energía consumida. Por tanto, es el resultado de la división de la energía calórica del agua extraída dividida entre la energía necesaria para calentar y mantener al agua a una temperatura de consumo, (1) [28].

$$EF = \frac{M \times C_p \times (T_{tanq} - T_{inlet})}{Q_{dm}} \quad (1)$$

Donde:

EF= factor de eficiencia energética

M= masa del agua en libras

C<sub>p</sub>=Calor específico del agua

T<sub>tanq</sub> = Temperatura de uso de agua caliente en °C

T<sub>tanq</sub> = Temperatura de entrada del de agua fría en °C

Q<sub>dm</sub>=Demanda diaria de agua caliente

El factor de eficiencia energética también considera las pérdidas de energía calórica del agua, que se estima como el porcentaje de la pérdida de calor por hora desde que el agua es almacenada hasta su distribución [28]. La eficiencia del equipo está dada por el valor del factor de eficiencia. Elevados valores del factor de eficiencia energética no siempre significan menores costos de operación,

especialmente cuando se comparan las fuentes de combustible empleados [29]. Sin embargo, un menor valor de energía implica mayores costos de operación [30].

En [28], se determina el factor de eficiencia eléctrica como la energía del agua en la salida del calentador, y en cada punto de distribución, donde se entrega el agua caliente, en estos puntos se mide la entrega total de energía, es decir esta energía es igual a la suma de la energía de cada punto de salida y se determina por (2):

$$Q_{hw} = (T_{hw} - T_{cw}) \times m_t \times C_p \quad (2)$$

Donde:

T<sub>hw</sub> = Temperatura del agua en la salida del calentador de agua.

T<sub>cw</sub> = Temperatura de entrada de agua fría.

m<sub>t</sub> = El caudal total del sistema.

C<sub>p</sub> = Calor específico del agua.

Mientras que la energía total de salida, viene dada por, (3):

$$Q_{out} = \sum_{i=L}^n (T_{out} - T_{cw}) \times m_i \times C_p \quad (3)$$

Donde:

T<sub>out</sub> = temperatura de salida.

m<sub>i</sub> = Caudal de salida.

C<sub>p</sub> = número de puntos de distribución

Donde la diferencia entre y indica las pérdidas de energía a través en la tubería, que permite medir la eficiencia energética del calentador de agua, y se calcula como (4):

$$Eff_{hw} = \frac{Q_{hw}}{Q_{elec}} \quad (4)$$

Donde:

Q<sub>elec</sub> = Total de energía eléctrica de entrada

Mientras que la eficiencia energética global del sistema se calcula como (5):

$$Eff_{hw} = \frac{Q_{out}}{Q_{elec}} \quad (5)$$

En general, la eficiencia energética de un calentador de agua con acumulador disminuye a medida que el volumen del acumulador se hace más grande, de manera que los tanques más pequeños consumen menos energía por litros de agua calentada. Las pérdidas calóricas de un tanque más grande reducen el factor de eficiencia energética,

EF, en un valor superior al de un sistema con un acumulador más pequeño [28]. El factor de carga se define como la relación entre la demanda media y la demanda máxima en kilovatios durante un mismo período de tiempo [30], (6):

$$\text{Factor de Carga (\%)} = \frac{\text{Demanda media (kW)}}{\text{Demanda Pico (kW)}} \quad (6)$$

El factor de carga es una medida de la demanda eléctrica del calentador en un mismo período de tiempo. Puesto que un factor de carga más elevado refleja una demanda más uniforme de electricidad, permitiendo determinar la eficiencia de cada una de las tecnologías.

**Tabla 3: Eficiencia de las tecnologías de agua caliente [28, 29].**

Tecnología	Eficiencia %
Combustión	55
Resistencia eléctrica	65
Solar	50
Inducción	95

En la Tabla 3, se presenta la eficiencia de las diferentes tecnologías aplicadas para el calentamiento de agua sanitaria.

## 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS ACS

En este apartado, se presenta un estudio de valoración técnica y económica de los diferentes dispositivos de agua caliente para uso doméstico en diferentes escenarios descritos a continuación. La evaluación económica del prototipo hace referencia a los distintos sistemas de calentamiento de agua que existen en el Ecuador y a los sistemas de calentamiento de agua que se pretende implantar en el futuro [31]. El análisis de los diferentes sistemas responde a las siguientes características:

- Consumo de agua caliente sanitaria para una familia ecuatoriana de 4 personas con un consumo total de 120 litros diarios.
- La energía necesaria para transferir el calor a esta masa de agua de una temperatura nominal de 18° a 60° es de aproximadamente 5 kWh.

- El consumo total de energía permite clasificar a los equipos de calentamiento de agua en tres grupos, Tabla 4.

**Tabla 4: Clasificación de los sistemas de calentamiento de agua en función de la potencia [16,25]**

Potencia	Capacidad (litros)
Baja (50W-2kW)	>50
Media (2kW- 20kW)	50 y 150
Alta (<20kW)	>300

Para la evaluación de los equipos de calentamiento de agua se tomara un nivel de potencia media puesto que la masa de agua a calentar se encuentra entre los 120 litros.

Los sistemas de calentamiento de agua de media potencia pueden ser eléctricos y a gas. Los sistemas anteriormente mencionados son adaptables para el consumo residencial de agua caliente, ya que estos poseen una entrada de agua fría con una tubería de 1/2". Un kilo de GLP proporciona una energía aproximada teórica de 13,13 kWh. Los sistemas de calentamiento de agua que usan GLP tienen una eficiencia de 50%, aproximadamente. Es decir, que un cilindro de gas de 15 kilos proporciona una energía neta de 98 kWh por cilindro.

En la Tabla 5, se presentan dos escenarios del consumo de energía y su costo económico mensual. En el primer escenario, se realiza un cálculo económico teniendo en cuenta el subsidio que realiza el Estado ecuatoriano, con un valor de 3\$ por cilindro de gas de 15 Kilogramos y un coste de 0.047\$ por kWh. Mientras que en un segundo escenario, se presenta el coste económico sin subsidio, con un precio de cilindro de gas y kilovatio hora de 18\$ y 0.98\$, respectivamente.

Los sistemas más utilizados en el Ecuador son: los calefones a gas, duchas eléctricas y en los últimos años se ha visto una pequeña introducción de los sistemas solares térmicos. En los siguientes párrafos se presenta, la evaluación energética, económica y medioambiental de los diferentes escenarios de integración de tecnologías de calentamiento de agua en el Ecuador.



**Tabla 5: Consumo de energía y costes económicos mensuales de los sistemas de calentamiento de agua [25, 26, 27, 32, 33]**

Tipo de calentadores	Consumo de Energía /Mensual	Costo Mensual de energía con subsidio, \$	Costo Mensual de energía sin subsidio, \$	Producción mensual de CO <sub>2</sub>
Calefón	2 Cilindros	6	36	34,5 Kg
Ducha Eléctrica	55,6 kWh	2,22	5,37	16.68Kg
Calentador solar	12 kWh	0,48	1,16	3.6Kg
Calentador Inducción	45,7 kWh	1,82	4,41	13.71kg

En el análisis se emplearán los valores de los costes económicos mencionados en el apartado 4 [25, 26, 27].

En la Tabla 5, además, se puede observar la cantidad de emisión de CO<sub>2</sub> de cada uno de los sistemas de calentamiento de agua en un mes. El sistema que emana una mayor cantidad de gases contaminantes es el sistema de gas o calefón.

Para la elaboración de la Tabla 5 se consideró una emisión de 300,13 gramos de CO<sub>2</sub> por kWh, valor estimado de emisión de gases contaminantes promedio en la producción de energía eléctrica en el país hasta el año 2013 [33]. En el análisis se considerará un coste de 8,66 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> [32].

En la Tabla 6, se presenta el coste económico de los sistemas de agua caliente sanitaria en el primer año. De la Tabla 6, se puede concluir que el coste de funcionamiento en el primer año de los sistemas de agua caliente sin subsidio es el doble que el de los sistemas con subsidio. Por otro lado, se puede observar que el precio del GLP con subsidio es 7 veces el precio sin subsidio. Una familia ecuatoriana paga 6 dólares por 2 cilindros de gas cuando su precio real es de 36 dólares.

**Tabla 6: Costo económico de las diferentes tecnologías en el año 1 [24, 25, 26, 27 32, 33]**

Tipo de Calentador	Fuente de Energía	Costo del Equipo, \$	Costo de Instalación, \$	Costo Mantenimiento Anual \$	Costo Energético Anual \$		Costo Anual de CO <sub>2</sub> \$	Coste Total del Primer Año, \$	
					Sin subsidio	Sin subsidio		Con subsidio	Sin subsidio
Calefactor	Combustión /GLP	175	75	15	72	432	3,50	340,50	700,50
Ducha Eléctrico	Eléctrica /Energía	80	40	10	26,64	64,44	1,69	158,33	196,13
Calentador solar	Solar /Térmica	750	80	20	5,76	13,92	0,36	856,12	864,28
Calentador Inducción	Eléctrica /Energía	100	40	13	21,84	52,92	1,39	176,23	207,31

**Tabla 7: Costo económico de las diferentes tecnologías en un horizonte de 25 Años [24, 25, 26, 27 32, 33]**

Tipo de Calentador	Fuente de Energía	Costo de puesta en marcha del equipo, \$	Costo Mantenimiento 25 años, \$	Costo Energético 25 años \$		Emisión CO <sub>2</sub> en 25 Años Toneladas	Costo CO <sub>2</sub> Anual, \$	Total 25 años,\$	
				Con subsidio	Sin subsidio			Con subsidio	Sin subsidio
Calefactor	Combustión /GLP	250	375	1.800	10.800	15,89	129,31	2.554,31	11.554,31
Ducha Eléctrico	Eléctrica /Energía	120	250	666	1.632	2,76	22,53	1.058,53	2.024,53
Calentador solar	Solar /Térmica	830	500	144	348	0,59	4,86	1.478,86	1.682,86
Calentador Inducción	Eléctrica /Energía	140	325	546	1.323	2,27	18,52	1.029,52	1.806,52

Una familia del Ecuador que emplea una ducha eléctrica consume en promedio 55,6 kWh y paga por electricidad aproximadamente 2,22 dólares, mientras el precio real por este servicio sería 5,37, si la electricidad no estuviese subsidiada.

En la Tabla, se realizó un estudio de factibilidad económica en el que se consideró un tiempo de 25, años puesto que es el tiempo promedio de vida útil de los equipos de calentamiento de agua. Se presenta un análisis de los costos económicos para diferentes dispositivos de calentamiento de agua en un horizonte de 25 años, evaluados de forma individual a través de dos escenarios, con subsidio y sin el subsidio del Estado ecuatoriano. Para la evaluación del coste y emisión de CO<sub>2</sub> de la Tabla 7, se consideró una emisión de 300,133 gramos CO<sub>2</sub>/kWh hasta el año 2017 y estimado de producción 200 gramos de CO<sub>2</sub>/kWh desde el 2017, debido a que el gobierno del Ecuador tiene en ejecución varios proyectos hidroeléctricos, que entraran en funcionamiento a partir del año 2017[19]. De la Tabla 7, se puede deducir que los sistemas de calentamiento de agua más sostenibles económica y ecológicamente son el sistema solar y el sistema de inducción magnética.

Los sistemas de calentamiento de agua solares y de inducción magnética presentan un costo económico total a un tiempo de 25 años de 1682,86 y 1806,52 dólares, respectivamente. Así, la emisión de los gases contaminantes de estos dos sistemas es muy reducida en comparación con los gases contaminantes de los sistemas de combustión.

Los SST aportan con un total de 0,57 toneladas, mientras los sistemas de inducción aportan con 2,27 toneladas en los 25 años del horizonte evaluado. Sin embargo, cabe resaltar que los sistemas de solares térmicos incorporan un sistema auxiliar que se encarga de complementar la demanda de energía necesaria del agua [13, 14]. Por este motivo, se ha visto necesario evaluar los sistemas solares térmicos con tres diferentes sistemas auxiliares como gas, eléctrico e inducción. En la Tabla 8, se observa el consumo energético y el coste económico en un año para los SST con los diferentes sistemas auxiliares. En la Tabla 8, se analiza consumo energético de cada uno de los sistemas auxiliares, tomando en cuenta el valor sin subsidio de la energía eléctrica y GLP. Se puede observar que el consumo energético de cada uno de los sistemas auxiliares está relacionado con la eficiencia de las tecnologías especificadas en el apartado 5.

**Tabla 8: Consumo energético y coste económico de los sistemas auxiliares de los SST [28, 29]**

Tipo de sistema Auxiliar	Consumo energético Anual, Kg o kWh	Costo mensual en Dólares, \$
Gas	72 Kg	86,4
Eléctrico	144 kWh	14,11
Inducción	96 kWh	7,06

Tabla 9: Costo económico total de implementación de las diferentes tecnologías en 25 Años [24, 25, 26, 27, 32, 33]

Número de sistemas en millones de unidades	Calefones, millones de dólares, \$	Duchas Eléctricas, millones de dólares, \$	Sistemas Solares Térmicos			Calentadores de Inducción Magnética, millones de dólares, \$
			Sistema Auxiliar de Gas, millones de dólares, \$	Sistema Auxiliar de Eléctrico, millones de dólares, \$	Sistema Auxiliar de Inducción, millones de dólares, \$	
1	11,554.305	2,024.531	2,524.294	1.346.290	1,005.290	1,806.519
2	23,108.611	4,049.063	5,048.588	2,692.580	2,010.580	3,613.039
3	34.662.916	6,073.590	7,572.882	4,038.871	3,015.870	5,419.559

En la Tabla 9, se presenta el coste de la implementación de las diferentes tecnologías de calentamiento de agua para un horizonte de 25 años. Los escenarios escogidos se basan en el último censo realizado en el Ecuador, que indica una población de 14.483.499 en el Ecuador con un promedio de 4 personas por familia dando un total de 3.620.874,75 de familias en el Ecuador. La muestra de 3 millones se ha tomado asumiendo que estas son las familias que constan con un sistema de agua caliente sanitaria y siguiendo uno de los lineamientos del gobierno nacional el que tiene como meta el remplazo de medio millón de calefones a gas [19, 34].

Esto implica que el gobierno nacional tendrá que repotenciar su propuesta de sustitución de los sistemas de calentamiento. En la Tabla 9, se puede observar que el sistema de calentamiento de agua más rentable económicamente es el sistema SST híbrido, solar más inducción magnética, que presenta el menor coste total de implementación en un tiempo de 25 años en relación con los diferentes sistemas de calentamiento de agua en cada uno de los escenarios propuestos. Es importante indicar que el coste total de implementación incluye:

- Coste de adquisición de del equipo.
- Coste de instalación.
- Coste de mantenimiento en 25 años.
- Coste de consumo energético en 25 años.
- Coste del impacto medio ambiental en 25 años.

El costo total de implementación de los sistemas híbridos, solar más inducción magnética, en un horizonte de 25 años, es igual a 3,015.870 Millones de dólares. En comparación, con el coste de implementación de otras tecnologías, los sistemas

híbridos son significativamente muy económicos. Por ejemplo, el coste de implementación de calefones y duchas eléctricas es igual a 34.662.916 y 6,073.590 millones de dólares, respectivamente.

## 7. CONCLUSIONES

La evaluación del impacto energético, económico y medioambiental de los diferentes escenarios de implementación de tecnologías eficientes de calentamiento de agua en el Ecuador permite realizar las siguientes conclusiones:

- La actual fuente de energía utilizada en el Ecuador para la generación de agua caliente es una de las más caras y contaminantes a nivel mundial. Además, la importante inversión, que realiza el Estado ecuatoriano para cubrir la demanda del mercado, representa grandes pérdidas económicas al país. Inversiones innecesarias hacia un recurso fósil no renovable y altamente contaminante.
- El coste económico que realiza el Estado ecuatoriano para subsidiar el consumo de electricidad y gas GLP en usos residenciales tiene un coste muy elevado, restando la capacidad económica del Estado para invertir en el desarrollo de las comunidades más vulnerables del país.
- Los sistemas solares térmicos y los calentadores que usan la tecnología de inducción magnética son los sistemas de calentamiento de agua económicamente más rentables más hoy en día a nivel mundial por su bajo consumo energético y su alta eficiencia energética.
- La implementación de sistemas auxiliares de inducción magnética en SST, permitirán suplir las desventajas de los SST de ACS, tales como

los elevados tiempos de calentamiento y la baja eficiencia que estos sistemas presentan.

- La implementación de tecnologías como sistemas solares térmicos e inducción magnética en el Ecuador en un horizonte de 25 años, permitirán reducir el consumo de gas y electricidad de las familias ecuatorianas, y por tanto, el coste de pago mensual por la energía consumida.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Secretaria 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”.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] J. I. Guamán Molina, D. Guevara, A. Ríos, “Evolución histórica de los circuitos electrónicos de inducción magnética” MASKANA, I+D+ingeniería 2014.
- [2] R. García San José, “Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria en edificaciones y viviendas”, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Septiembre, 2008.
- [3] “Idae secretara general departamento de planificación y estudios; análisis del consumo energético del sector residencial en España,” Proyecto SECHSPAHOUSEC, pp. Pp. 9, 10,11, 2011.
- [4] W. Jian, “Comparative of domestic hot water systems”, Takapuna Grammar School, Sir Paul Callaghan, EUREKA, 2013.
- [5] L. Saravia, C. Cadena, “Colectores solares para agua caliente”, INENCO,
- [6] C. Plac White Paper – ISES (Internacional Solar Energy Society)- “Un Futuro Para el Mundo en Desarrollo Basada en las Fuentes Renovables de Energía.”, Dieter Holm, D.Arch, 2005
- [7] J. Maguire, X. Fang and E. Wilson, “Comparison of Advanced Residential Water Heating Technologies in the United States” , National Renewable Energy Laboratory, May 2013.
- [8] J. M. L. Cózar, Manual de Energía Renovable. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, Madrid, cuarta edición, Octubre 2008.
- [9] FAGOR, “Energía solar térmica,” Expertos, vol. Volumen 1, Octubre 2009.
- [10] IRENA, “Solar heating and cooling for residential applications,” ETSAP, pp. pp. 10–44, Enero 2015.
- [11] F. Mauthner, W. Weiss, M. Spörk, “Solar Heat Worldwide”, Solar Heating & Cooling Programme, Internatinal Energy Agency, Edition 2015, June 2015.
- [12] “Secretaria nacional de planificación y desarrollo- semplades, plan nacional del buen vivir,” vol. Primera Edición, Junio 2013.
- [13] V. S. Barrera, “Sistema alternativo de energía solar y de gas para calentar agua en una vivienda tipo departamento,” Master’s thesis, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., Junio 2010.
- [14] R. Bosh España, “Guía del Instalador de Agua Caliente Sanitaria”, Junkers,
- [15] INEN, “Norma Técnica ecuatoriana NTE INEN 2 124:98,” vol. Volumen 1, Diciembre 2008.
- [16] J. C. M. Escribano, Manual Técnico de Energía Solar Térmica. Dirección Nacional de Energía, volumen 2 ed., Marzo 2013.
- [17] C.L. Giralt, “Manual Sistemas Solar Térmicos. Ministerio de Vivienda y Urbanismo”, Santiago de Chile, primera edición ed., 2014.
- [18] W. Jian, “Comparative of domestic hot water systems”, Takapuna Grammar School, Sir Paul Callaghan, EUREKA, 2013.
- [19] J. Guamán and PhD. A. Villacorta, “Sistema de Calefacción de agua por inducción electromagnética para el uso doméstico”,

- Tesis, Facultad de ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Universidad técnica de Ambato, Julio 2015.
- [20] J. M. L. Cózar, Manual de Energía Renovable. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, Madrid, cuarta Edición, octubre 2008.
- [21] J. Rivadeneira, F. Pérez, “Uno de cada tres cilindros de gas... no es para cocinar”, Gestión N°170, 2007.
- [22] IRINA, “Renewable Energy in Latin America 2015 an overview of policies, The International Renewable Energy Agency, June 2015.
- [23] M. Sweeney, J. Dols, B. Fortenbery, and F. Sharp, “Induction cooking technology design and assessment,” Electric Power Research Institute (EPRI) ACEEE, pp. 371–372, 2014.
- [24] H. Alban, “Comercialización de gas licuado de petróleo (GLP) en el Ecuador”, Agencia de Regulación y control Hidrocarburífero, 2013.
- [25] M. Neira, I. Velástegui, R. Salgado, Etal, “Plan Maestro de Electrificación del Ecuador”, CONELEC, 2009-2015
- [26] M. M. Monrroy, “Políticas de subsidio a los combustibles en América latina: El precio del GLP”, Consultoría Diseño Gráfico, vol. Volumen 1, 2012.
- [27] “Estado financiero diciembre del 2014, empresa pública de hidrocarburos,” vol. Ecuador, pág. 33.
- [28] “Technical Support Document: Energy Efficiency Standards for Consumer Products: Residential Water Heaters, Including: Regulatory Impact Analysis”, (Washington. DC: Energy Efficiency & Renewable Energy)
- [29] U.S. Department of Energy (1995), “Selecting a New Water Heater”, Report DOE/GO-10095-064, Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse.
- [30] Natural Resources Canada (2003), “Residential Sector: Heating, Cooling and Comfort - Water Heaters” Office of Energy Efficiency. Available online (August 2004) at:
- [31] M. Sweeney, J. Dols, B. Fortenbery, and F. Sharp, “Induction cooking technology design and assessment,” Electric Power Research Institute (EPRI) ACEEE, pp. 371–372, 2014.
- [32] R. Parra and D. Robles, “Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el ecuador durante el periodo 2001-2011”, Publicado en línea,
- [33] Generalitat de Catalunya Comisión Interpartamental del Cambio Climático, “Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero”, Edición 2012, Marzo 2012.
- [34] M. Sweeney, J. Dols, B. Fortenbery, and F. Sharp, “Induction cooking technology design and assessment,” Electric Power Research Institute (EPRI) ACEEE, pp. 371–372, 2014.
- [35] F. Sánchez, “Análisis y diseño de un sistema de calefacción solar para agua caliente sanitaria,” Master’s thesis, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador, 2010.



**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.



**David Guevara Aulestia.**- obtuvo el título de ingeniero en sistemas, en la Universidad Técnica de Ambato en 1997. Master en Redes y Telecomunicaciones en la Universidad Técnica de Ambato en 2007. Es docente investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.



**Mario García Carrillo.-**

Obtuvo el Título de ingeniero en Electricidad especialidad Electrónica, en la Universidad Politécnica del litoral en 1997. Master en Docencia Universitaria Magister En “Docencia Universitaria Y Administración Educativa”

Universidad Tecnológica Indoamérica, Diploma Superior En Teoría, Diseño Y Evaluación Curricular” Universidad Técnica De Ambato Magister En Redes Y Telecomunicaciones Universidad Técnica De Ambato



**Alberto Ríos Villacorta.-**

Dr. Ingeniero Eléctrico por Universidad Carlos III de Madrid, 2007. Master en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid, 2004. Ingeniero Eléctrico en Sistemas y

Redes Eléctricas por el Instituto Politécnico de Bielorrusia, 1993. Profesor Ayudante de la Universidad Carlos III de Madrid, 1998-2001.

Profesor Adjunto de la Universidad Europea de Madrid, 2001- 2014. Director Técnico del Laboratorio de Ensayos de Turbinas Eólicas y Simulaciones de parques Eólicos, 2005-2006. Director del Master Oficial de Energías Renovables de la Universidad Europea de Madrid, 2007-2011. Investigador Postdoctoral, Universidad Técnica de Ambato desde el año 2014, Beca Prometeo, SENESCYT, Ecuador.