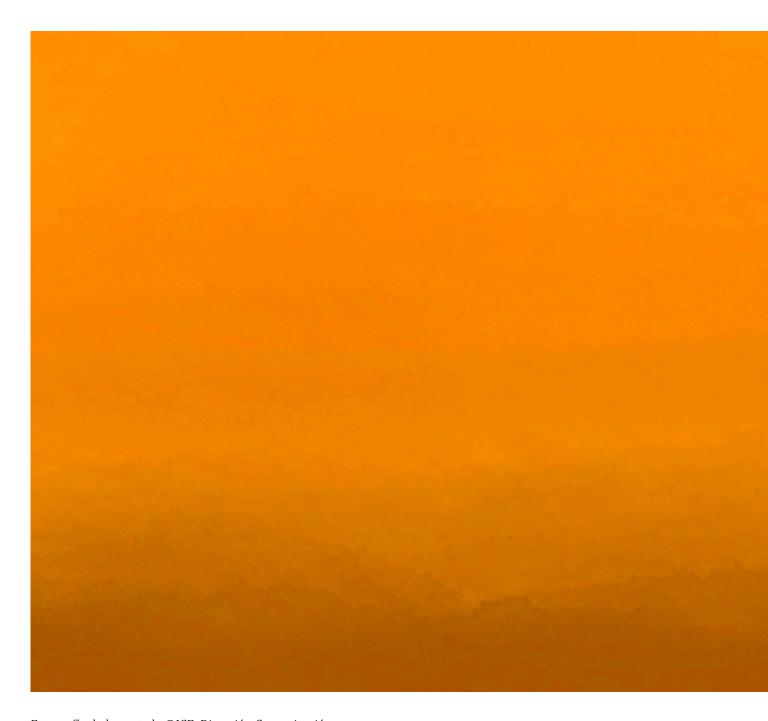


# enerLAC

Revista de Energía de Latinoamérica y el Caribe





Fotografía de la portada ©ICE, Dirección Comunicación e Identidad Corporativa, Parque Eólico Tejona Fotografías solicitadas por - OLADE. Autor artístico, fotógrafo: Jimmy Arriola Barrantes.

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) 2017. Todos los derechos reservados.

www.olade.org enerlac@olade.org (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995 / 2599-489 Quito, Ecuador



### COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco SECRETARIO EJECUTIVO

Andrés Schuschny
DIRECTOR DE ESTUDIOS, PROYECTOS E INFORMACIÓN

Pablo Garcés ASESOR TÉCNICO

Martha Vides L.
ESPECIALISTA PRINCIPAL DE HIDROCARBUROS

Alexandra Arias
ESPECIALISTA PRINCIPAL DE ELECTRICIDAD

Blanca Guanocunga BIBLIOTECARIA

### COORDINADOR@S DE LA EDICIÓN

Alfonso Blanco DIRECTOR

Pablo Garcés EDITOR

Andrés Schuschny, Martha Vides L. REVISORES

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad de los autores y no comprometen a las organizaciones mencionadas.

### DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Ana María Arroyo CONSULTORA DE DISEÑO GRÁFICO

### COLABORADORES:

Un agradecimiento al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Ecuador por el apoyo brindado en esta edición; y a Jaime Martí, Investigador CIMNE (International Center for Numerical Methods in Engineering); Ricardo Narváez, Subdirector Técnico del INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Ecuador); Alberto Reyes, Investigador INEEL (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, México); Javier Martínez, Profesor en la UISEK (Universidad Internacional SEK, Ecuador).



Marysol Materán, Consultora de Investigación

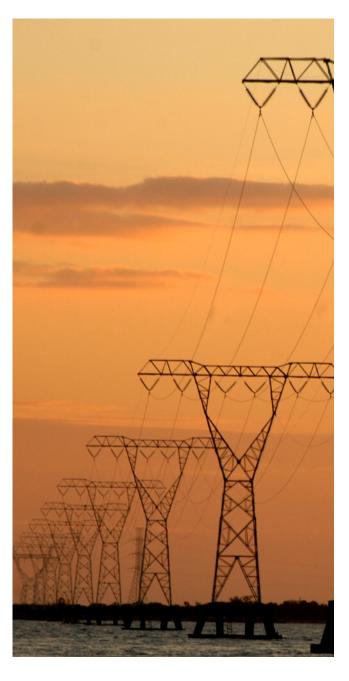






### 21.8 millones de latinoamericanos y caribeños aún no poseen acceso a la energía.

### 7.6 millones de esta población desplazada se concentra en un solo país: Haití



Un indicador que resulta de gran impacto para Latinoamérica y el Caribe es la evolución del nivel de acceso a la electricidad en los países de la región. En las estadísticas con base al año 2015 existían 22.6 millones de personas sin acceso a la electricidad en Latinoamérica y el Caribe. En diciembre de 2017 desde OLADE estamos publicando las nuevas cifras en el Anuario de Estadísticas Energéticas 2017 y surge que el número de personas sin acceso a la electricidad reportados con datos al 2016 se reduce a 21.8 millones de personas. Esto se traduce en una simple cifra, en el 2016 ochocientos mil (800.000) latinoamericanos y caribeños han tenido acceso a la electricidad.

Es importante notar que hace menos de 10 años (valores de 2007) la cantidad de latinoamericanos y caribeños sin acceso a la electricidad era más del doble, 44 millones de personas. El descenso en la población sin acceso a la electricidad se ha dado a una tasa acumulada anual de -7%, mientras que el aumento de la demanda eléctrica se ha producido en la región a una tasa del 2.7% en el mismo período. Son datos realmente impresionantes, que demuestran los grandes esfuerzos en esta materia que muchos de los países de la región vienen realizando para mejorar las condiciones de vida de la población más vulnerable. Este es un indicador que refleja claramente que los ciclos económicos favorables que muchos países de la región han observado se han traducido, en la última década, en una mejora de uno de los indicadores de desarrollo humano.

50.000 7,6% 45.000 7,0% 40.000 6,4% 5,8% 35.000 30.000 30.000 25.000 20.000 15.000 5,3% 4,8% 4,4% 4,0% 3,6% 3,5% 10.000 5.000 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 44.074 41.046 34.175 31.399 América Latina y el Caribe 38.292 28.771 26.615 24.681 22.643 21.830

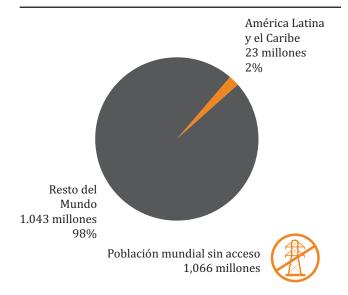
Figura 1. Evolución de la población sin acceso a electricidad ALC

Fuente: OLADE, elaboración propia con base en datos registrados en sieLAC.

Nota: El porcentaje corresponde a la población sin acceso de electricidad respecto a la población total.

Comparando con los valores de acceso del mundo, la región representa únicamente el 2% de los 1,000 millones de personas sin acceso a la electricidad a nivel global.

Figura 2. Población sin acceso a electricidad a nivel mundial



Fuente: Datos globales correspondientes a 2014 respecto a las estadísticas del Banco Mundial.

Si analizamos las tres principales economías de la región, México, Brasil y Argentina, en total estos tres países redujeron entre 2007 y 2016 en el entorno de 6.7 millones de personas la población sin acceso a la electricidad. El mayor avance en el período fue logrado por Brasil que a partir de programas muy ambiciosos como el Programa Luz para Todos dio acceso a la electricidad a más de 3.4 millones de personas en ese período.

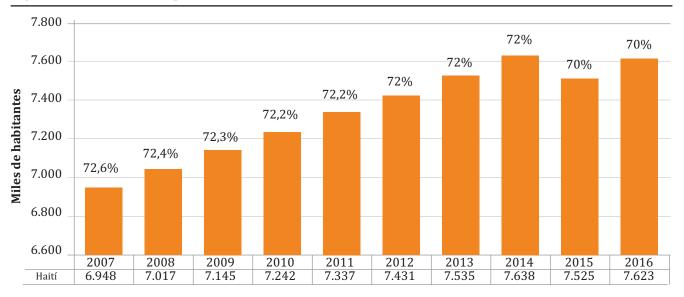
Un dato muy interesante es la evolución en materia de acceso de algunos países de Centro América. Un caso notorio es Honduras que en el mismo período logró la conexión a la electricidad de más de 1 millón de personas, una cifra impactante para el tamaño comparativo de la economía hondureña.

Los países del Caribe han logrado una cobertura eléctrica promedio del entorno del 78.9 % y esta cobertura sin Haití es del 97%.

Por tal motivo sigue siendo preocupante la situación de Haití, mientras todos los países de la región vienen experimentando un sendero de reducción de la población sin acceso a la electricidad, Haití tiene más de 7.6 millones de personas sin acceso. Esto significa que el 70% de la población hoy se encuentra sin acceso y este porcentaje en vez de ir decreciendo aumenta

cada año. Si se comparan los valores de acceso actuales con las cifras en 2007, en 2016 hay 650 mil haitianos más sin acceso a la electricidad respecto a la población sin acceso en 2007.

Figura 3. Evolución de la población sin acceso a la electricidad - Haití



Fuente: OLADE, elaboración propia con base en datos registrados en sieLAC

Nota: El porcentaje corresponde a la población sin acceso de electricidad respecto a la población total.

Es una clara señal de alerta, es una situación de emergencia declarada desde hace mucho tiempo en Haití y que requiere una acción de reparación inmediata con el compromiso de toda la comunidad internacional. Es de destacar que la población sin acceso puede ser abastecida por redes eléctricas y no estaríamos hablando de soluciones en isla destinadas a zonas remotas, ya que la población objetivo se encuentra concentrada y no existen restricciones relevantes a nivel geográfico.

Es evidente el efecto directo y multiplicador para el desarrollo social y económico que tiene cualquier esfuerzo destinado a la electrificación para poder brindar acceso a la energía de la población más vulnerable, esto se ha observado en nuestra región durante toda la década pasada. El acceso a la electricidad mejora las condiciones sanitarias, y los servicios de salud, tiene un efecto directo en el acceso a la educación y la escolarización de los niños, permite asimismo que se inicien actividades productivas y de comercio que posibilitan a la economía doméstica lograr un sendero de crecimiento genuino y brindar mejores condiciones a los segmentos más desplazados de la sociedad.

Vivimos en la región del planeta más desigual, trabajar en el acceso a la energía es una de las formas que tenemos para reducir esta brecha. Los avances han sido muchos pero aún es necesario un esfuerzo final.

### ÍNDICE

Sissy Larrea

8	PETROLERO: ELIMINACIÓN DE LA QUEMA REGULAR DE GAS PARA 2030 Francisco J. Sucre
10	LA EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO ENERGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE AL DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE Hugo Altomonte
24	DISTRIBUCIÓN FACTIBLE DE AEROGENERADORES EN UN PARQUE EÓLICO Tania Guerrero, Jessica Constante
86	VIVIENDA SOSTENIBLE: UNA REALIDAD EN COSTA RICA Karla Venegas, Alexandra Arias
50	LA <i>BLOCKCHAIN</i> Y SUS POSIBLES APLICACIONES EN EL ÁMBITO DE LA ENERGÍA Andrés Schuschny
30	IMPACTO DE LA INTRODUCCIÓN DE COCINAS DE INDUCCIÓN EN LA CALIDAD DE LA ELECTRICIDAD EN LOS HOGARES DE ECUADOR Daniel Arroyo, Darío Rodriguez, Javier Martínez-Gómez, Gonzalo Guerrón
96	SEGURIDAD JURÍDICA EN LA INTEGRACIÓN ENERGÉTICA: DELITOS ENERGÉTICOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE Tatiana Castillo Moreno
22	ANÁLISIS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO DEL ECUADOR Verónica Guayanlema, Luis Fernández, Karla Arias
<b>FO</b>	DESARROLLO DE LA EQUIDAD DE GÉNERO EN EL SECTOR ENERGÉTICO DE LOS PAÍSES MIEMBROS DE OLADE: UN RECORRIDO DE 5 AÑOS

### PONER FIN A UNA PRÁCTICA VIGENTE DESDE HACE 150 AÑOS EN EL SECTOR PETROLERO: ELIMINACIÓN DE LA QUEMA REGULAR DE GAS PARA 2030

Francisco J. Sucre<sup>1</sup> ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (8-9).



<sup>1</sup> Grupo del Banco Mundial, Coordinador Regional para América Latina y Asia, Prácticas Globales de Energía y Extractivas, Licenciado en Administración de Empresas y Master en Política y Gestión Ambiental. fsucre@worldbank.org

 ${f C}$ ada año se queman casi 150 000 millones de metros cúbicos de gas natural en miles de yacimientos petrolíferos de todo el mundo, lo que genera la emisión de más de 300 millones de toneladas de  ${f CO}_2$  en la atmósfera, esto es, el equivalente a todos los vehículos de América Latina. La quema de gas tiene impacto en el medio ambiente a través de la emisión de  ${f CO}_2$ , gas metano no quemado, carbono negro (hollín) y otros contaminantes. Con ella también se desperdicia un valioso recurso energético que podría utilizarse para promover el desarrollo

sostenible de los países productores de petróleo. Por ejemplo, si todo el gas que se quema en el mundo se usara para producir electricidad, podrían generarse unos 750 000 millones de kWh. Con esto se cubriría el 60 % del consumo anual de electricidad de América Latina y de todo el continente africano.

El Banco Mundial trabaja activamente para lograr la reducción de la quema de gas en el mundo como parte de sus esfuerzos por mitigar el cambio climático y contribuir a proporcionar energía asequible, confiable y sostenible a los 1100 millones de personas que hoy en día no tienen acceso a ella. En 2002 el Banco, junto con varios Gobiernos y empresas petroleras, puso en marcha la Asociación Mundial para la Reducción de la Quema de Gas (GGFR) con el fin de generar conciencia, ayudar a eliminar los obstáculos técnicos y normativos que impiden reducir la quema, realizar investigaciones, difundir las mejores prácticas y desarrollar programas de reducción de la quema de gas específicos para cada país.

Un elemento central de la GGFR y de los esfuerzos que lleva adelante el Banco Mundial para reducir la quema es el reconocimiento de que los recursos gasíferos pueden ayudar a los países a avanzar hacia un modelo energético más sostenible a la vez que contribuyen a diversificar sus economías. El gas natural es el combustible fósil con menor intensidad de carbono: su huella equivale a la

mitad de la del carbón en el punto de combustión (y a tan solo el 35 %-40 % del carbón en las unidades con turbinas de gas de ciclo combinado de mayor eficiencia de conversión). El gas es a menudo el medio menos costoso para brindar un suministro eléctrico flexible, y los proyectos de producción de gas también pueden respaldar la creación de empleo en el nivel local a través de la cadena de suministro, desde la punta de la antorcha hasta el consumidor final.

Dos años atrás, la GGFR analizó si el agotamiento natural de los yacimientos de petróleo resolvería por sí solo el problema de la quema de gas en un plazo razonable. Se determinó que aun si se aplicaran prácticas mejores que las habituales respecto del agotamiento de los yacimientos y no se adoptaran medidas para reducir la quema regular, esta continuaría implementándose en una escala significativa, y no había garantías de que en los nuevos yacimientos no se utilizara la quema regular. En consecuencia, era necesario reforzar y ampliar los esfuerzos para abordar el problema de la quema de gas en todo el mundo.

La evaluación realizada por la GGFR dio origen a la iniciativa "Eliminación de la Quema Regular de Gas para 2030", que fue diseñada para acelerar esta labor y estableció la meta de poner fin definitivamente a esta práctica vigente desde hace 150 años en el sector petrolero. Esta iniciativa, puesta en marcha por el secretario de las Naciones Unidas y el presidente del Grupo Banco Mundial, compromete a quienes la ratifican a no quemar gases asociados en los nuevos yacimientos petrolíferos y a garantizar que los procesos de quema vigentes se eliminen tan pronto como sea posible y a más tardar en 2030.

Hay buenos motivos para ser optimistas. Más de 70 Gobiernos, empresas petroleras e instituciones de desarrollo han ratificado ya la iniciativa. Asimismo, diversos organismos del sector, como la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y el Consejo Mundial del Petróleo, manifiestan activamente su apoyo y colaboran

para generar conciencia sobre este tema. La iniciativa Eliminación de la Quema Regular de Gas para 2030 no conlleva un compromiso legalmente vinculante. Sin embargo, muchas compañías petroleras de primera línea que ya aplican la política de eliminar la quema en los yacimientos nuevos consideran que la iniciativa constituye un aporte positivo, dado que generará condiciones más equitativas: otras empresas adoptarán las mismas buenas prácticas y los Gobiernos las exigirán.

Durante los próximos años, el Banco Mundial continuará acercándose a los Gobiernos y a las empresas petroleras con la esperanza de que todos los actores importantes del sector respalden estos esfuerzos y se comprometan a sumarse a una iniciativa mundial que se transformará en el futuro en una norma de hecho para el sector, con la que se abordan de forma directa la gestión de los recursos y una mayor protección ambiental, dos elementos imprescindibles para un desarrollo mundial eficaz y transformador.



### LA EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO ENERGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE AL DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE

Hugo Altomonte 1

Recibido: 19/sep/2017 y Aceptado: 31/oct/2017 ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (10-23).



<sup>1</sup> Doctor en Economía de la Energía, Grenoble, Francia. Ex vicepresidente del IDEE asociado a la Fundación Bariloche, Ex Director de la División de R.Naturales e Infraestrucutra de la CEPAL-Naciones Unidas. Consultor Internacional en recursos naturales y energía. hugo.altomonte@gmail.com



### **RESUMEN**

Así como para llegar a los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) hubo que transitar un camino no exento de complejidades, plantear objetivos e instrumentos para implementar la planificación energética integral y sostenible en un país, requiere de un recorrido de similares complejidades.

De allí la importancia de pasar revista y analizar la dinámica conceptual y empírica que siguió la relación entre energía y desarrollo sostenible. Recién en los años noventa comienza a ser incorporado, y de una manera somera o superficial, el concepto de sustentabilidad en la política energética de casi todos los países de América Latina. Y esto obedeció más a razones ambientales que a una concepción integral del desarrollo sostenible, que incluye los ejes económico, social, ambiental e institucional.

De las diferentes dimensiones que deben tomarse en cuenta para desarrollar, implementar y monitorear el proceso de planificación energética integral y sostenible, dos necesitan de una mayor atención por parte de las autoridades y la sociedad en su conjunto: la dimensión política, porque muchas veces las decisiones que se deben tomar transcienden al sector energético; y la dimensión o marco legal en que deben encuadrarse las actividades energéticas.

**Palabras Claves:** Energía, Desarrollo Sostenible, Planificación Energética Integral, Política Energética.

#### **ABSTRACT**

Much like the necessity of going down a path full of complexities in order to reach the Sustainable Development Goals (SDGs), setting objectives and tools to implement integral energetic and sustainable planning in a country requires to follow a path of similar complexities.

Hence the importance of reviewing and analyzing the conceptual and empirical dynamics that followed the relationship between energy and sustainable development. It was not until the 1990's that the concept of sustainability in energy policy, of almost all Latin American countries, began to be incorporated in a superficial manner. And this was due more to environmental reasons than to an integral conception of sustainable development, which includes the economic, social, environmental and institutional axes.

Out of the different dimensions that must be taken into account to develop, implement and monitor the integrated and sustainable energy planning process, there are two that require greater attention from authorities and society as a whole: the political dimension, given that many times the decisions that must be made go beyond the energy sector; and the legal dimension in which energy activities should be framed.

**Keywords:** Energy, Sustainable Development, Integral Energy Planning, Energy Policy.

La direccionalidad que se propusieron en el programa Energía y Desarrollo Sostenible de OLADE y la CEPAL con la Cooperación del Gobierno de la República Federal de Alemania, fueron precursores tanto a escala regional, y de alguna forma a escala internacional del vínculo entre energía y desarrollo sostenible.

#### 1. LOS ANTECEDENTES

El objetivo de estas reflexiones es centrar/ delinear la trayectoria que siguió el pensamiento y las investigaciones de algunos organismos regionales en la relación entre energía y desarrollo sostenible. Abarcar todas las instancias o convenios institucionales de esos organismos con OLADE, así como la diversidad de temas/ejes de análisis rebasa el alcance de estas notas. Por eso me centraré en el proyecto OLADE/CEPAL/ GTZ como precursor del análisis y direccionalidad que tomó la guía para la planificación energética que publicó OLADE<sup>1</sup>. También haré especial referencia al resultado de algunos proyectos que se desarrollaron en OLADE y en la CEPAL con la cooperación del gobierno de Alemania, que a mi juicio sirvieron de insumos a dicha guía de planificación, en particular a la concepción de la planificación energética sostenible. Tampoco haré una crónica pormenorizada del sendero analítico perseguido para el estudio del cambio climático y/o de las políticas ambientales en la región, solo tomaré algunos foros internacionales, principalmente los de las Naciones Unidas, que constituyeron hitos y referencias ineludibles para el debate: energía – desarrollo - sostenibilidad.

La Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano, conocida también como Conferencia de Estocolmo², celebrada en junio de 1972 fue la primera de una serie de conferencias y/o convenciones de la ONU sobre cuestiones ambientales a nivel internacional. La de Estocolmo es reconocida porque marcó un punto de inflexión en el desarrollo de la política internacional del medio ambiente. Pero lo llamativo, o no para esa época, es que dentro de los siete puntos de la "proclamación" no figura ninguna relación a la energía.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> OLADE. Guía para la Planificación Energética

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Ver Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio humano. Estocolmo, 5 a 16 de junio de 1972. Naciones Unidas: A/CONF.48/14/Rev.1

Siguió luego la conferencia de Río de Janeiro en junio de 1992 denominada Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo<sup>3</sup>, que tampoco menciona entre sus veintiún principios temas relacionados ni con la producción, ni con el consumo o acceso a servicios de energía.

Es recién en la Cumbre de Johannesburgo<sup>4</sup>, de 2002, que se alude explícitamente a la energía. Esto se debe a que en esa cumbre se planteó que, para lograr un futuro sostenible, es necesario atacar varios frentes como la pobreza, el agua, el saneamiento, la agricultura, la desertificación y la energía. Y estableció ciertos objetivos a alcanzar en 2015, los denominados Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM).

Luego siguieron otras iniciativas en varias Cumbres y/o Conferencias de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible, desde el Protocolo de Kyoto (adoptado en diciembre de 1997 con entrada en vigor en 2005) hasta la reciente Conferencia de París sobre el Clima (COP21), celebrada en diciembre de 2015. En todos los casos, hay referencias explícitas a todos los eslabones de la cadena productiva energética y en particular, en esta última, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecen en el objetivo #7, (ODS 7) "garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos". El diagnóstico a escala internacional, a 2015, era bien claro: a) un 20% de la población mundial no está electrificada en calidad ni en cantidad con servicios modernos; b) tres mil millones de personas, principalmente en África, pero también de zonas rurales de países de América Latina y el Caribe dependen de la biomasa tradicional (leña) fundamentalmente para la cocción de alimentos y un uso menor

Como se aprecia entonces, dado el proceso histórico descrito hasta aquí, el contenido y la direccionalidad que se propusieron en el programa Energía y Desarrollo Sostenible de OLADE y la CEPAL con la Cooperación del Gobierno de la República Federal de Alemania, fueron precursores tanto a escala regional, y de alguna forma a escala internacional del vínculo entre ambos conceptos.

### 2. LOS PRIMEROS CONCEPTOS SOBRE ENERGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE: EL PROYECTO OLADE/CEPAL/GTZ

Entre mediados del año 1993 y junio de 1994 se diseñó el Proyecto del programa de la agencia de cooperación de Alemania (en su momento GTZ) con dos agencias regionales: la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y la Comisión Económica para América Latina y El Caribe de las Naciones Unidas (CEPAL).

La idea inicial de este proyecto fue evaluar los impactos de las reformas energéticas que estaban enfrentando los países de la región sobre el desarrollo del sector energético<sup>5</sup>. En esa época, ya habían comenzado los procesos de reformas administrativas y económicas en la mayoría de los países de A. Latina, las que incluían al sector energético. Desde nuestro proyecto, mediante estudios de casos, se intentó disponer de una muestra representativa que diera cuenta de

para calefacción; c) el consumo y producción de energía representa alrededor del 60% del total de emisiones de gases de efecto invernadero a escala mundial.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ver declaración de la Conferencia de Río de Janeiro. Naciones Unidas en http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/docu ments/declaracionrio.htm

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Ver declaración de la cumbre de Johannesburgo 2002. En http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/cumbre\_ni.htm

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Ver OLADE. i) La modernización del sector energético en América Latina y el Caribe: marco regulatorio, desincorporación de activos y libre comercio. Quito 1997; y ii) Revista de OLADE 1997. Las reformas del sector energético de América Latina y el Caribe. Tema de análisis en la reunión de ministros de OLADE.

los diferentes tipos de reformas en países que contaran con diferentes dotaciones de recursos naturales.

Para ello se eligieron tres países: i) El Salvador, país que representaría a aquellos de pequeña escala de sus sistemas eléctricos, e importadores netos y con reformas energéticas parciales; ii) Chile que representaría a los de escala intermedia, importadores de crudo pero con recursos hidro y reformas radicales del sector energético; iii) Colombia, exportador de energía, de escala mediano – grande de sus sistemas y reformas parciales, además de contar con dos empresas públicas articuladoras en sus respectivos sectores.

Los resultados de estos trabajos se discutieron con todos los actores de la esfera pública y la privada, organismos de gobiernos, empresas, academia, ONG de cada país.

Se establecieron parámetros para países de condiciones similares a los de la muestra, por medio de ocho indicadores para cada uno de los 26 países miembros de OLADE. Tres indicadores en el eje económico (productividad de la energía, autarquía energética y robustez de las exportaciones), tres para el eje ambiental (limpieza de la matriz, participación de las renovables, alcance de recursos fósiles y leña); y dos para el eje social (cobertura eléctrica y consumo de energía útil/habitante). Esta primera etapa del proyecto<sup>6</sup> produjo un gran impacto en la región por cuanto por primera vez se pudieron evaluar por medio de indicadores las relaciones entre energía y los ejes económico, social y ambiental del desarrollo sostenible. Y por primera vez también, los formuladores de políticas disponían de una base numérica y medible para establecer rumbos de acción en los tres ejes del desarrollo sostenible del sector energético, en función de indicadores cuantitativos, que sirvieran para evaluar los procesos de reformas

Los indicadores así establecidos, sirvieron y sirven también para efectuar comparaciones entre países. Y si para un país se replicaran cada cierto intervalo de tiempo, cinco años, por caso, en lugar de tener una "fotografía" se tendría una "película" y poder configurarse de esa forma una evolución o sendero que han seguido los países (en la figura 1 se toma el caso de Bolivia para los años 1990 y 1994).



### Eje ambiental

Limpieza de la matriz Participación de renovables Alcance de recursos fósiles y leña

#### Eje social

Cobertura eléctrica Consumo de energía útil/habitante

que esos países hubiera o estaban en proceso de implementar.

Wer Publicación: http://www/DRNI/proyectos/energ%C3 %ADa/proyecto.htm

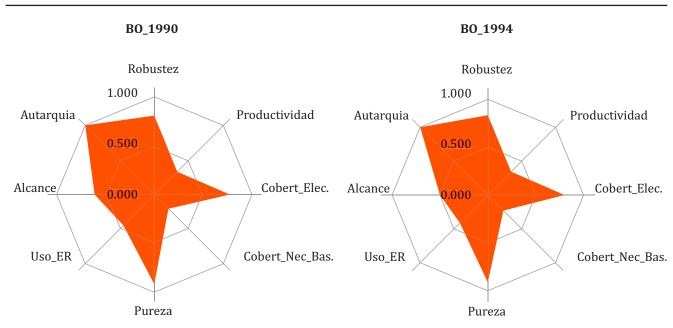


Figura 1. Indicadores de Sustentabilidad Energética para Bolivia (1990 y 1994)

Fuente: René Salgado y Hugo Altomonte. Indicadores de Sustentabilidad 1990-1999. CEPAL. Proyecto OLADE/CEPAL/GTZ. Santiago 2001.

En esta primera fase del proyecto y en función de los estudios de casos y presentaciones de resultados en los seminarios nacionales, se produjeron en algunos países hechos políticos de mucha importancia. Tal es el caso de Chile. En este país el proyecto permitió discutir por primera vez las reformas del sector en Chile luego del retorno a la democracia en los '90, y esto gracias a los ocho trabajos que se hicieron como estudios en diferentes sectores y temas. El conjunto de esos trabajos fue utilizado por el fiscal económico de Chile en el juicio económico en contra de uno de los holdings, con el objeto de desarticular el monopolio verticalmente integrado que detentaba el holding esto es la generación de electricidad, la transmisión y la distribución. Si bien la resolución Nº 488, de 11 de junio de 1997 de la Comisión Resolutiva no dio lugar a la solicitud del fiscal económico se cita... a) una investigación "destinada a proponer las medidas que sean necesarias para asegurar y restablecer la transparencia del mercado de la energía eléctrica en el Sistema Interconectado Central (SIC)" y ...

b) La denuncia que sobre esta misma materia formuló el abogado Sr. Ramón Briones Espinosa, a fs. 100, acumulada a la investigación dispuesta por la Fiscalía Nacional Económica por resolución de fs. 109, vtas.... Que entre otros corresponden a los trabajos que se desarrollaron en el marco del Proyecto CEPAL-GTZ antes citados.

En 1996, en un seminario regional que se realizó en Brasil, se presentaron los resultados de la primera fase constituida por los tres países más otros trabajos que se hicieron paralelamente. Esta reunión, sirvió para presentar el documento síntesis regional sobre Energía y Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe<sup>7</sup>, documento que incluye la medición de los indicadores y principales conclusiones de los estudios de casos de los países mencionados.

Ver OLADE/CEPAL/GTZ. Energía y Desarrollo Sostenible en A. Latina y el Caribe. Junio de 1996.

### 3. DEL CONCEPTO A LA GUÍA PARA FORMULACIÓN DE POLÍTICAS

Entre 1997 y el 2000 se realizaron una serie de estudios de caso adicionales (Bolivia, Brasil entre otros) y se elaboró **la guía para la elaboración de políticas energéticas para el desarrollo sostenible**. Dicha guía se aplicó en talleres en varios países tanto de América del Sur como Centroamérica, y también en el Caribe de habla inglesa, lo que dio lugar a la publicación "Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la Formulación de Políticas Energéticas.8"

Posteriormente esta guía además de ser utilizada en varios países en función de los talleres subregionales<sup>9</sup> sirvió para rehacer una segunda versión mejorada de la señalada en el punto anterior. También hubo pedidos de asistencia técnica de otros países -que tienen un vínculo con los resultados descritos en la cooperación Alemania-OLADE-CEPAL<sup>10</sup>.

En Colombia las autoridades energéticas implementaron la guía a través del proyecto "Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo PEN 2010-2030<sup>11</sup>. Es decir cinco años después

autoridades de gobierno de varios países implementaron el manual de políticas desarrollado por el proyecto OLADE-CEPAL-GTZ, lo que ejemplifica el fortalecimiento de las estructuras políticas en las que el proyecto contribuyó a la formulación de políticas energéticas para el desarrollo sostenible.

No caben dudas que los resultados del proyecto sirvieron de base para que otros organismos internacionales repliquen y profundicen en otras regiones del mundo el desarrollo conceptual de estos temas.

Asimismo, los indicadores que por primera vez para América Latina se elaboraron por el proyecto, fueron retomados por otros organismos de Europa para ser replicados en sus ejes social, económico y ambiental. Es cierto que los ocho indicadores del proyecto OLADE/CEPAL/GTZ fueron ampliados, dado la disponibilidad de información que permitió profundizar o sub ordinar los ocho indicadores antes citados en sub categorías o agregados regionales, etc. Por ejemplo la publicación "indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías"12 de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA); y otros organismos como el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas; la Agencia Internacional de la Energía, Eurostat, y la Agencia Europea del Medio Ambiente. Posteriormente, estas agencias en 2005, presentaron alrededor de 30 indicadores para indicar aspectos de la producción y el uso de la energía y las diferentes dimensiones del desarrollo sostenible y de las implicaciones de largo plazo de las decisiones actuales en materia de política<sup>13</sup>.

PEN/PEN%202010%20VERSION%20FINAL.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Ver https://www.cepal.org/es/publicaciones/27838-ener gia-desarrollo-sustentable-america-latina-caribe-guia-la-formulacion

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Comunidad Andina (5 países) y México 11-14 de septiembre de 2000; Mercosur + Bolivia+ Chile entre 31 de octubre y el 3 de noviembre de 2000; Centroamérica (6 países) en ciudad de Panamá 27-30 de octubre de 2000. Además, hubo talleres conjuntos con autoridades de Medio Ambiente y energía para seis países de Centroamérica en Honduras del 21-24 de mayo de 2001; y del Caribe en Cuba 11-13 de julio de 2001.

Conjuntamente con PNUD y RISO en Jamaica entre el 26-28 de julio de 2000 y en Nicaragua entre 29-31 de enero de 2001. Además, se realizaron talleres nacionales en Honduras 16-18 de mayo de 2001, Barbados entre el 20-22 de junio de 2001; y Perú entre 7-9 de julio de 2001.

<sup>11</sup> Ver documento final en http://www.upme.gov.co/Docs/

Ver http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF / Pub1222s\_web.pdf. Viena 1998

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> IAEA, UNDESA, JEA, EUROSTAT, EEA. "Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies". Viena, 2005.

No caben dudas que los resultados del proyecto sirvieron de base para que otros organismos internacionales repliquen y profundicen en otras regiones del mundo el desarrollo conceptual de estos temas (en este caso indicadores para la relación entre energía y desarrollo sustentable).

# 4. CON POSTERIORIDAD A LA GUÍA DE POLÍTICAS: VARIOS PROYECTOS, PERO CON UNA MISMA DIRECCIONALIDAD EN LA SOSTENIBILIDAD

Hacia el 2002-2003 con el apoyo de la cooperación del gobierno de Alemania, OLADE y CEPAL, siguieron con proyectos propios a cada organismo, pero con los lineamientos principales que siguieron el sendero de energía y desarrollo sostenible. Así continuaron los talleres de aplicación de la guía para la formulación de políticas en varios países, seminarios para discutir temas específicos tanto a escala regional como sub regional y también a escala nacional. Reuniones, seminarios foros en los que participaron y se presentaron resultados sobre las últimas investigaciones en el tema de la relación energía – sostenibilidad.

En agosto de 2005, OLADE hizo una primera evaluación de las reformas energéticas desde la óptica del desarrollo sostenible<sup>14</sup>, tomando como base los indicadores del proyecto OLADE/CEPAL/GTZ. Las principales conclusiones de ese documento se sintetizan en:

• En los últimos 30 años (aproximadamente entre 1980-2000), se pudo observar que las reformas en general han sido aplicadas considerando los mismos elementos: apertura de mercado, liberalización de precios, mayor flujo de inversión privada, apoyo a la electrificación rural, etc.) en igual o distintos momentos de tiempo, y han tratado de responder en general a los requerimientos de la

política macroeconómica y fiscal, con diferentes repercusiones en cada uno de los países.

- Los impactos de estas políticas al desarrollo sostenible, han tenido resultados no muy alentadores. Por un lado, se registraron importantes avances en cuanto a la electrificación rural, pero no ocurrió lo mismo como el nivel de ingreso o reducción de la pobreza y por consiguiente podría decirse que no se registraron iguales cambios estructurales como los realizados en el sector energético de muchos países. Por otro lado, hacia el 2005, es también interesante observar que países como Venezuela y Trinidad y Tobago que pese a ser países con una gran plataforma exportadora de recursos energéticos, no han mostrado avances sustanciales en los indicadores de sustentabilidad, especialmente en los relativos a niveles de ingreso, productividad y reducción de la pobreza. Esta característica, resultado de una fuerte concentración de su recurso energético como generador de riqueza, muestra una débil estrategia de diversificación de fuentes de generación de valor y/o de industrialización, que atenta hacia el logro de un desarrollo sostenible.
- A partir de la dotación de recursos naturales v de la evaluación de los indicadores, OLADE demostró que se "mostraron carencias que implícitamente sugieren prioridades en la política energética de los países en miras al logro de un desarrollo sostenible. En este sentido, uno de los lineamientos más importantes de política que se vislumbra, es el dar prioridad a las estrategias de integración a nivel subregional y entre subregiones, en la cual la Región Andina es la que deberá constituirse en el motor de integración." Por otro lado, son preocupantes los niveles de desigualdad en la distribución del ingreso que persisten en muchos de los países de la región, lo cual a su vez no solo tiene un impacto en los indicadores sociales, sino que además restringe de alguna manera el acceso a fuentes de energía modernas y por consiguiente se convierte en una espiral de subdesarrollo muy fuerte.

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> Ver Política Energética en América Latina y el Caribe: Evaluación desde una Perspectiva de Desarrollo Sostenible". OLADE. Quito -agosto, 2005

• Quizá si se actualizara esa evaluación, por caso a 2015, se tengan más o menos las mismas conclusiones: avances en algunos indicadores: aumento de la productividad energética, en el proceso de electrificación, pero al menos no en la velocidad deseada en la renovabilidad de la matriz, ni en un aumento de la eficiencia integral del sistema. Por tanto, "de un primer análisis realizado y de manera muy general, queda la interrogante sobre si las políticas y reformas energéticas emprendidas hayan realmente o no contribuido a mejorar la vida de los habitantes de los países y la sustentabilidad del desarrollo".15

También la guía para la formulación de políticas, fue utilizada como base para el proyecto de OLADE con la cooperación del gobierno de Canadá "Proyecto OLADE - CIDA - Desarrollo de Capacidades en Planificación Energética". Esto sirve para visibilizar también las alianzas que nacieron a partir de la cooperación con otras instituciones regionales, influenciando sin duda los conceptos y acciones de la formulación de políticas, en este caso a través de la planificación energética<sup>16</sup>.

- Entre otros proyectos en la línea de energía y desarrollo podrían citarse:
- Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica. Programa Synergy. Guía Latinoamericana MDL.
- Unión Europea. UNESA. Abril 2005.
- Talleres nacionales del mecanismo de desarrollo limpio (mdl), en varios países. Proyecto cambio climático. CIDA, Universidad de Calgary. Varios talleres 2005;

- Numerosos trabajos en revistas energéticas y ENERLAC de OLADE en los años 2005 2015.
- Bases Conceptuales para el marco regulatorio del sector energético sustentable. Parlamento Andino. OLADE. Bogotá, Colombia 2015

Por su parte CEPAL, en 2002 – 2003 y con la cooperación del gobierno alemán (GTZ) comienza a desarrollar el trabajo sobre "sostenibilidad y renovabilidad" de la matriz energética de A. Latina y el Caribe. Proyecto que tuvo un alto impacto político, dado que en octubre de 2003 el gobierno de Brasil y el gobierno de Alemania organizaron la primera Conferencia Regional para América Latina y el Caribe sobre Energías Renovables cuyos principales resultados pueden resumirse en:

- Convocada por el Gobierno de Brasil como parte del proceso preparatorio de la Conferencia Internacional sobre Energías Renovables que tendría lugar en junio de 2004, en la ciudad de Bonn y que fuera oficialmente anunciada por el gobierno Alemán durante la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Johannesburgo 2002). Esta Conferencia de Brasilia fue la primera reunión de América Latina y El Caribe que contó conjuntamente con la asistencia de Ministerios de Energía y Medio Ambiente.
- El alto impacto político de esta reunión estuvo dado por la asistencia de la entonces Ministra de Energía de Brasil y posteriormente ex presidenta Dilma Rousseff; así como de la ex Ministra de Medio Ambiente de Brasil y posteriormente ex candidata a presidenta del Brasil Marina Silva. Por el lado del gobierno de Alemania, estaba presente la máxima autoridad del proyecto "energía y sostenibilidad" Jürgen Trittin, Ministro Federal para el Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear.
- Se presentó el documento Sostenibilidad Energética en América Latina y El Caribe:

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> OLADE op. Cit 2005

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> Ver http://www.olade.org/es/proyecto/olade-cida/desar rollo-capacidades-pe

el aporte de las fuentes renovables. Dicho documento se elaboró en el marco del proyecto GTZ-CEPAL "Promoción del Desarrollo Económico en A. Latina y el Caribe por medio de la integración de Propuestas Ambientales y Sociales" 17.

En este documento por primera vez se presenta para la región, una discusión metodológica sobre la diferencia entre los conceptos de sostenibilidad y renovabilidad de las fuentes energéticas. Este tema no es menor para la región porque plantea el reto de fijar criterios para la sostenibilidad de la explotación del recurso de biomasa (leña) y de la hidroelectricidad.

En esta reunión se aprobó la plataforma de Brasilia, que si bien no fue un documento mandatorio tenía dos puntos fundamentales: i) planteaba una meta de participación futura de fuentes renovables para la región al año 2010; y ii) los países encargaron a la CEPAL la elaboración de un documento que debía ser presentado como posición regional en la "Conferencia Internacional sobre Energías Renovables de Bonn" que se celebraría en junio de 2004.

Dando seguimiento al mandato de la plataforma de Brasilia, en la reunión internacional de Bonn el proyecto CEPAL-GTZ presentó el documento "Energías Renovables en A. Latina y el Caribe: situación y propuestas de políticas". Este documento fue presentado en el plenario de la reunión de Bonn, en representación de A. Latina y el Caribe por la Ministra de Energía de Brasil Dilma Rousseff<sup>18</sup>. En este documento el proyecto plantea una visión integral en torno a tres iniciativas relevantes: i) la revaloración ambiental y social de la hidroenergía; ii) la contribución de las fuentes renovables de energía al desarrollo integral; iii) el uso racional

de la biomasa, los biocombustibles y la eficiencia energética; Temas que aún hoy en 2017 siguen estando en la agenda política de los países de A. Latina.

En el campo de la eficiencia energética, la CEPAL con GTZ inició un proceso de ddiálogos políticos para la promoción de la eficiencia energética regional, que se viene desarrollando de forma ininterrumpida desde 2010, busca promover al más alto nivel político un diálogo entre todos los actores en áreas o temas específicos que hacen a la eficiencia energética. A través de estos diálogos el proyecto ha fortalecido las estructuras políticas de los países, así como la solicitud de pedidos de asistencia técnica y también la concreción de proyectos con otras instituciones, por ejemplo, para el financiamiento de programas de eficiencia energética con CAF y KFW19. En general los temas de los diálogos versaron sobre la institucionalidad, la financiación sostenible de la eficiencia energética; Indicadores para la eficiencia; movilidad y mercados (ESCOs).

Otro proyecto que encaró la CEPAL (que involucra también a OLADE) es el de Indicadores para evaluar las políticas públicas de eficiencia energética (Programa BIEE). Este proyecto cuenta con la ayuda técnica y financiera de la Agencia para la eficiencia energética de Francia (ADEME). Este proyecto tiene por objetivo evaluar la eficacia de las políticas o programas de eficiencia energética<sup>20</sup> a través de indicadores generales

 $<sup>^{\</sup>rm 17}$  Ver http://www.cepal.org/publicaciones/xml/9/ 13319 / Lcl.1966e.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> Ver http://www.cepal.org/publicaciones/xml/9/ 14839 / Lcl2132e.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>19</sup> Ver algunas publicaciones de los diálogos en http://www.cepal.org/publicaciones/xml/1/37451/lcw280e.pdf y http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/51608/Eficien ciaenergetica.pdf

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> En los países de América Latina y el Caribe, la calidad de las estadísticas e indicadores de desempeño que permiten cuantificar resultados de los programas nacionales de eficiencia energética continúa siendo insuficiente. Para superar esta carencia el Programa BIEE está generando un conjunto de indicadores específicos y sectoriales que permitan determinar la evolución de los programas nacionales de eficiencia energética, analizar los resultados y - como consecuencia - tomar las decisiones de políticas que correspondan.

o globales y sectoriales / subsectoriales, en la medida que la disponibilidad de la información lo permita.

## 5. DE LA GUÍA DE POLÍTICAS A LA GUÍA DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA INTEGRAL Y SOSTENIBLE

La experiencia de la mayoría de los países de América Latina, desde mediados de los ochenta hasta fines de los noventa, demostró que se emprendieron un conjunto de reformas que afectaron estructuralmente las instituciones, las cadenas productivas y por ende los mercados energéticos. En algunos casos con reformas parciales, sólo de carácter administrativo-legal y regulatorias; en otros con reformas radicales que involucró también el cambio de dominio o propiedad de empresas y de los recursos naturales, tanto de hidrocarburos como el de algunos renovables como el agua (caso de la hidroelectricidad). Tanto en los casos en que se preservó la estructura verticalmente integrada de las empresas públicas, en las que el Estado determinaba en qué, cuándo y cómo invertir; como en los casos en que el Estado abandonó las funciones empresariales, el rol del Estado para determinar las políticas ha sido crucial<sup>21</sup>.

De la misma forma en que el Estado ha sido históricamente y lo es en la actualidad, el rector de los lineamientos de la política energética, le cabe un papel clave, y único quizás, en la planificación integral del sector energético. Esto debido a las múltiples interacciones de las políticas públicas con las decisiones de diferentes organizaciones públicas descentralizadas o no, pero también privadas que necesitan de una coordinación espacial y política. OLADE<sup>22</sup> en este sentido,

señala que "... es vital que el Estado recupere su rol planificador de modo tal de brindar la posibilidad de acciones directas, identificando e implementando las modificaciones regulatorias necesarias para seguir el sendero deseado".

Por esto le cabe al Estado la responsabilidad de desarrollar los procesos de planificación sostenible. "La función de un planificador es brindar la mayor cantidad de información concreta al decisor. El plan energético, como entregable final de dicho proceso, carece de valor si las estrategias no son efectivamente ejecutadas y monitoreadas,... es importante planificar el sistema energético, pero es aún más importante que el sistema energético opere conforme a lo establecido en el plan"<sup>23</sup>.

Como se mencionó en la introducción de estas reflexiones, actualmente existen exigencias que la sustentabilidad social y ambiental impone a la planificación. Por ello se necesita de una visión de largo plazo, y como se estableció en el proyecto OLADE/CEPAL/GTZ también de un equilibrio entre todas las dimensiones, o ejes, del desarrollo sostenible. Esto lleva, a que, al momento de tomar las decisiones, por ejemplo de proyectos de infraestructura para garantizar el abastecimiento energético, se deban fijar prioridades de acuerdo a circunstancias geopolíticas, de política nacional o departamental; así como identificar los temas críticos y desarrollar una estrategia viable dentro de lo posible -; dentro de un marco legal v regulatorio acorde.

Un tema no menor que está adquiriendo cada vez más importancia es el relacionado con la información y la institucionalidad. Para alcanzar los objetivos del planeamiento y, dependiendo del alcance de dicha planificación, es decir para diferentes alcances espaciales o geográficos de la planificación, sea global o regional (más de dos países), nacional, regional o provincial, local, se requiere de una institucionalidad y de una serie de información diferente. Pero también se

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Ver entre otros Fernando Sánchez Albavera y Hugo Altomonte. Las reformas energéticas en A.Latina. División de Medio Ambiente y Desarrollo. CEPAL. Santiago, abril 1997. En esta publicación se resalta claramente que "la responsabilidad de las políticas públicas, la regulación y la coordinación del sector es propio del Estado".

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> OLADE (2017). Manual para la Planificación Energética. Op. Cit página 9-12

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> Ver Alejandra Reyes. La planificación energética en Uruguay. Entrevista en www.olade.org

necesitan informaciones distintas de acuerdo al alcance temporal: corto y largo plazo.

La planificación integral y sostenible requiere cada vez de más información, más completa y compleja, sobre los ejes del desarrollo sostenible. Sabemos que en los años pioneros de la planificación en nuestra región, esto es los años 60'y 70', para planificar el sector eléctrico "los llamados planes de expansión" contemplaban la proyección de demanda, de equipamiento u oferta, cuantificación de las inversiones el financiamiento y ... las relaciones o indicadores de inversión/PIB, financiamiento local o en moneda extranjera, etc... Y los objetivos eran abastecer un determinado porcentaje de la población, grados de fiabilidad de los sistemas; lograr el autoabastecimiento, etc. No había mención ni a las renovables, ni al medio ambiente, ni a lo social (pobreza) y mucho menos a lo institucional.

En 2017, y quizás desde hace pocos años, para diseñar políticas públicas y hacer planeamiento el sistema de información integral energético, tecnológico y socio-ambiental, es mucho más complejo en cantidad y calidad de información. Y esto en lo ambiental, en lo social, sobre la disponibilidad y evaluación de recursos naturales; los protocolos internacionales sobre pueblos originarios, y tecnologías disponibles son cada vez más dinámicos y cambiantes en el corto plazo, lo que obliga a cierta flexibilidad en la planificación. Por ejemplo, encarar el tema de la generación distribuida -y el de las redes inteligentes - con relación al eje tecnológico, incluye con frecuencia: i) que es deseable la incorporación de esta generación a partir de fuentes renovables no convencionales; ii) que es necesario disminuir las brechas de consumos y por tanto es necesario el aumento del consumo y expansión a de redes a sectores periurbanos; iii) que asistimos a un cambio del paradigma de operación de la tradicional red eléctrica, soportado por la incorporación masiva de la informática y las comunicaciones. Pues bien, estos cambios demandan más mediciones, más seguridad y más normalización, que deben ir

de la mano del desarrollo de la propia red inteligente. ¿La pregunta es si los países de América Latina están preparados para ello? ¿Tenemos la institucionalidad que este cambio requiere, en el sistema tarifario, en el sistema de inyecciones y retiros?<sup>24</sup> ¿O en la calidad de la seguridad individual y de las viviendas? América Latina, y algunas ciudades y regiones de muchos de nuestros países no tenemos garantías para quienes manejan estas informaciones sean no discrecionales y por tanto segura para sus habitantes.

La gestión de la información para la planificación energética integral y sostenible plantea varios desafíos y dimensiones que están muy bien referenciadas y analizados en la guía de OLADE<sup>25</sup>. Así se hace referencia a las dimensiones económica, ambiental, tecnológica, social. Y también a dos dimensiones en las cuales deberíamos prestar mayor atención en el proceso de planificación: i) la dimensión política, porque muchas veces las decisiones en el área energética se basan, en la voluntad política y no en la evaluación económica, como ocurre muchas veces con cuantiosas inversiones de grandes represas; o de programas que podrían afectar la geopolítica de una subregión. O simplemente a nivel nacional, cuando se toman decisiones -a favor o en contrade corte netamente político porque se está en medio de un proceso eleccionario que van más allá de los análisis técnicos-económicos de los

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> En Chile la ley N° 20.571 de Generación Ciudadana (antes llamada de Generación Distribuida, también conocida como Net Billing), en dos años desde su implementación sólo se recibieron 481 solicitudes de conexión y de éstas hay 122 proyectos declarados ante el ente fiscalizador, equivalentes a 1,76 MW. La explicación que dan los promotores y fabricantes de equipos es un tema que tiene varias explicaciones, una de carácter tarifario en cuanto a la diferencia entre el costo y reintegro y otra que aún no está bien evaluado "todos los beneficios y costos económicos del sistema". Ver:http://www.emol.com/noticias/Eco nomia/2016/03/09/792145/balance-de-la-ley-de-generacion-ciudadana.html

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Ver OLADE. Guía para la planificación. Op cit. Capítulo III, páginas 43-78

proyectos en sí mismos; ii) la dimensión legal o el marco legal en que deben encuadrarse las actividades energéticas.

Estas dos dimensiones son tan o más importantes que los cuatro ejes principales del desarrollo sostenible. Los ejemplos de proyectos que han sido abandonados por razones políticas y legales abundan, sea proyectos que técnica, económica y ambientalmente eran sostenibles, o al menos no se había demostrado fehacientemente la "no sustentabilidad" de los mismos (algunos hidro de gran porte y otros porque eran desarrollados por empresas que estaban en proceso de consulta por corrupción). E incluso ciertos provectos o programas de renovables no convencionales que se han visto favorecidos más por causas de "efecto de demostración" que por causas técnicoeconómicas y/o ambientales -dado que las evaluaciones no incluyeron estos ejes, o porque esa evaluación es inexistente - .

Es importante resaltar la inclusión del eje institucional en la guía de OLADE, que lo analiza como un cuarto indicador de sostenibilidad bajo el nombre de "Gobernabilidad"26, asociado a los aspectos institucionales. OLADE señala que "el desarrollo de capacidades es particularmente importante en el diseño y mantenimiento de apropiados marcos institucionales, compatibles con las estructuras existentes y las prácticas en el proceso de decisión de políticas. Más también debe prepararse en la capacitación para nuevas instituciones que exigen la dinámica del sistema energético y su vinculación con el desarrollo sustentable.... el efectivo funcionamiento de la coordinación inter-institucional y la gobernabilidad del sistema es una condición para asegurar coherencia en los esfuerzos y los resultados esperados.... equipo competente es el resultado de un proceso que incluye conocimientos y experiencia para garantizar resultados y gobernabilidad del sistema"<sup>27</sup>. Es decir, se requiere como condición necesaria -aunque no suficiente- la necesidad de instituciones, pero con el necesario capital humano y presupuesto para que funcionen adecuadamente.

Finalmente, para implementar adecuadamente la guía de planificación, se verifica que varios países de la región están al debe en cuanto a la actualización y calidad de la información requerida. En particular en lo que hace a la inclusión en los balances energéticos de información sobre renovables no convencionales como solar, eólica y biomasa; y en la elaboración de balances en términos de energía útil. Pero también en el desarrollo metodológico común en los países para incorporar la energía solar pasiva (calentamiento), la actualización de consumos de leña, la inclusión adecuada de la biomasa no tradicional (consumo y producción); en la desagregación de la información por regiones o departamentos y en subsectores de consumo.

Pero también hay que destacar ciertos aspectos positivos: varios países ya cuentan con información que se puede consultar en línea, tanto para el consumo como para la producción u oferta y también para licitaciones lo que ayuda a tener un sistema más transparente para la toma de decisiones por parte de productores y consumidores de energía, y de alguna forma contribuye a reducir las brechas sociales y productivas.

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> Si bien el concepto de gobernabilidad podría ser más amplio que el descripto o analizado en esta guía dado que la gobernabilidad o gobernanza en general abarca lo institucional. Pero de todas formas más allá de la definición lo que se quiere resaltar es la inclusión de esta cuarta dimensión de la sostenibilidad. Por caso CEPAL, en su libro "La gobernanza de los recursos naturales" hace referencia justamente a un concepto más amplio. Ver CEPAL (2016).

 $<sup>^{\</sup>rm 27}\,$  OLADE Guía op. cit página 252.

#### REFERENCIAS

OLADE. Manual para la Planificación Energética 2017. ISBN 978-9978-70-109-62da edición, marzo 2017.

Informe de la conferencia de las naciones unidas sobre el medio humano. Estocolmo, 5 a 16 de junio de 1972. Naciones Unidas: A/CONF.48/14/Rev.1

Declaración de la Conferencia de Río de Janeiro. Naciones Unidas en línea http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm

Declaración de la cumbre de Johannesburgo 2002. En línea http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/cumbre\_ni.htm

OLADE. La modernización del sector energético en América Latina y el Caribe: marco regulatorio, desincorporación de activos y libre comercio. Quito 1997;

Revista de OLADE 1997. Las reformas del sector energético de América Latina y el Caribe. Tema de análisis en la reunión de ministros de OLADE.

OLADE/CEPAL/GTZ. Energía y Desarrollo Sostenible en A. Latina y el Caribe. Quito, Junio de 1996.

René Salgado y Hugo Altomonte. Indicadores de Sustentabilidad 1990-1999. CEPAL. Proyecto OLADE/ CEPAL/GTZ. Santiago 2001

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Colombia, Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo. Unión Temporal Universidad Nacional-Fundación Bariloche. Julio 2010.

IAEA, UNDESA, JEA, EUROSTAT, EEA. "Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies". Viena, 2005.

OLADE-CEPAL-GTZ. Energía y Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe: Guía para la formulación de políticas energéticas. Primera edición. Santiago de Chile 2003.

OLADE. Política Energética en América Latina y el Caribe: Evaluación desde una Perspectiva de Desarrollo Sostenible". Quito. Agosto, 2005.

CEPAL. Sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe: el aporte de las fuentes renovables. Octubre 2003.

CEPAL. Fuentes renovables de energía en América Latina y el Caribe: situación y propuestas de políticas. Santiago, Mayo 2004

Fernando Sánchez Albavera y Hugo Altomonte. Las reformas energéticas en América Latina. División de Medio Ambiente y Desarrollo. CEPAL. Santiago, abril 1997

Hugo Altomonte, Ricardo Sánchez. Hacia una gobernanza de los recursos naturales en América Latina y el Caribe. Libros de la CEPAL. ISBN 9789213290330 Santiago. Mayo 2016.

CEPAL. Situación y perspectivas de la eficiencia energética en América Latina y el Caribe. LC/W.280. Santiago, Octubre 2009

### DISTRIBUCIÓN FACTIBLE DE AEROGENERADORES EN UN PARQUE EÓLICO

Tania Guerrero<sup>1</sup>, Jessica Constante<sup>2</sup>

Recibido: 12/nov/2016 y Aceptado: 25/nov/2016 ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (24-35).



1 Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Ingeniera en Mecatrónica, Analista Técnico de Servicios Especializados 1.

tania.guerrero@iner.gob.ec

2 Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Ingeniera en Mecatrónica, Analista Técnico de Servicios Especializados 1.

jessica.constante@iner.gob.ec

Fotografía cedida por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ecuador.



#### **RESUMEN**

El artículo propone una metodología para la distribución de turbinas en un emplazamiento priorizado en la Provincia de Pichincha en Ecuador, basado en mapas obtenidos de un análisis multicriterio. El emplazamiento se caracteriza por espacios llanos, de baja densidad de aire y alto recurso eólico. El polígono priorizado del sitio se lo realizó analizando el mapa de vientos y multicriterio, los mismos que son mapas tipo ráster y tienen una resolución de 200x200 metros, este es el punto de partida para la ubicación de aerogeneradores. Previo al procesamiento y tratamiento de datos, se analizó las metodologías utilizadas en estudios anteriores para optimizar la ubicación de las turbina en diferentes tipos de emplazamiento. La metodología propuesta para la distribución de turbinas eólicas en el emplazamiento, considera la dirección predominante del viento para la creación de un tensor que contiene la posición de los aerogeneradores en un polígono, con el fin de simular el efecto estela. Se obtuvieron varias distribuciones para la instalación de aerogeneradores, cada una de ellas con su respectivo número de turbinas y capacidad instalable. Por último, se determinó que la capacidad máxima instalable en el polígono priorizado utilizando la metodología propuesta es de 98MW con 49 aerogeneradores de 2MW.

**Palabras Claves:** Distribución de turbinas, Recurso Eólico, Energía, Parques Eólicos

#### **ABSTRACT**

A methodology for the distribution of wind turbines in a prioritized location in the Province of Pichincha in Ecuador based on the multicriteria analysis is analyzed in this work. This site is characterized by the high wind resources, low air density and plain terrain. The starting point of the investigation was established based on the calculation of the priority site polygon, which guarantees that the criteria and restrictions of the sites have already been considered analyzing the wind and multicriteria raster maps with a pixel resolution of 200x200 meters. The methodology for the wind turbines distribution, considers the predominant direction of the wind to create a tensor with the position of every turbine to simulate the wake effect. As a result, several distributions were obtained for the installation of wind turbines, each of them with their respective number of turbines and installable capacity. In addition, it was determined that the maximum installed capacity in the prioritized polygon is 98 MW with 49 wind turbines of 2MW.

**Keywords:** Micrositing, Wind Resources, Wind Energy, Wind Farms.

La ubicación computacional de aerogeneradores en un emplazamiento permite calcular y proyectar la energía que entregará el parque de manera anual.

### 1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, existen 3 parques eólicos operativos ubicados en Santa Cruz - Baltra, San Cristóbal y Loja de 2.25 MW, 2.4 MW y 16 MW de potencia instalada respectivamente. En la actualidad, se han desarrollado metodologías para impulsar la energía eólica en el país como es el caso del análisis multicriterio, el cual prioriza sitios con alto potencial eólico con fines de generación eléctrica, tomando en cuenta diferentes criterios de selección como son: el recurso eólico, pendientes de terreno, distancias a vías, a redes y subestaciones eléctricas, estado de las vías, etc. También se ha considerado restricciones como zonas volcánicas, áreas protegidas, zonas de inundaciones, etc. El Estudio fue desarrollado entre el INER y CELEC Termo Pichincha, profundizado en el artículo de Villacreses et al. (2017)

La ubicación computacional de aerogeneradores en un emplazamiento permite calcular y proyectar la energía que entregará el parque de manera anual. Según Serrano González et al. (2014) el incorrecto dimensionamiento del parque y ubicación de las turbinas afecta al rendimiento de toda la central eólica, produciendo pérdidas importantes de energía. Para encontrar la solución a este problema, se han realizado diferentes tipos de metodologías que permiten posicionar las turbinas tomando en cuenta su ubicación individual, su estela y la dirección predominante del viento en un emplazamiento de estudio. (Samorani, 2013)

En el trabajo expuesto por Mittal et al. (2015), se muestra un modelo híbrido el cual se basa en la combinación de un algoritmo genético probabilístico y la búsqueda de gradientes determinísticos. En el caso de González Martínez (2014), se mencionan varios algoritmos para optimizar las ubicaciones de las turbinas basados fundamentalmente en algoritmos genéticos.

La extracción de energía que se produce en el rotor genera una desaceleración en la velocidad del viento en cada turbina, que afecta el rendimiento de un aerogenerador aguas abajo, formando una zona de velocidad reducida con mayor turbulencia llamada efecto estela (Talayero et al., 2011). La metodología basada en el efecto estela desarrollada por Jensen (1983), es considerada la más precisa y es utilizada en el desarrollo de software según Şişbot et al. (2010).

Cabe mencionar que en el Ecuador no se ha desarrollado una metodología específica para la distribución de turbinas en un parque eólico o micrositing. En este sentido, en este artículo se propone una metodología para la ubicación de turbinas en polígonos priorizados en el país con el fin de aprovechar el recurso disponible para generación eléctrica, que respalde los estudios realizados a la fecha por las instituciones Esta metodología mencionadas. permite posicionar turbinas en un polígono obtenido a partir un análisis multicriterio Villacreses et al. (2017) y de un análisis de mapas en formato raster de potencial eólo-eléctrico y altura. Con esta metodología se determina la capacidad instalable en un parque con diferentes distribuciones, además de ser el paso fundamental para realizar estudios de prefactibilidad y factibilidad de proyectos de generación de electricidad con este tipo de tecnologías.

El documento es organizado de la siguiente manera. En primer lugar se presenta el tratamiento datos de los emplazamientos. Posteriormente se detalla la metodología propuesta y finalmente presentan los resultados obtenidos, las conclusiones y recomendaciones.

### 2. METODOLOGÍA

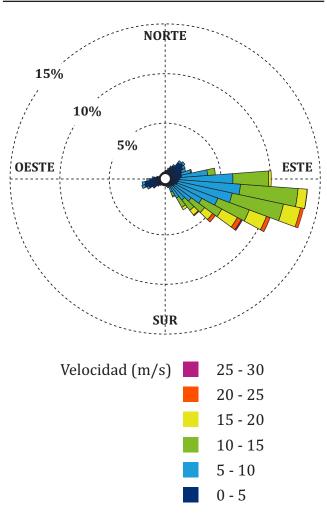
Los datos empleados para el desarrollo del algoritmo fueron obtenidos de una torre de medición instalada en Quito-Loma a 51 m de altura y fueron provistos por La Empresa Eléctrica Quito (EEQ). La torre de medición está compuesta por un data logger Symphonie modelo

Plus 3, iPack GSM, Panel Solar de 5V, sensores como: barómetro, veleta de dirección, sensor de temperatura, voltímetro, sensor de irradiación, sensor de humedad, anemómetro vertical.

Los datos de la torre de medición de Quito-Loma fueron procesados con el fin de obtener las series temporales de cada uno de los sensores, los ajustes de la función de densidad de probabilidad con distribución de Weibull, correlación de datos, rosa de los vientos, intensidad de turbulencia y la densidad de aire.

La rosa de los vientos obtenida de los datos de dirección de viento a 51 m de altura en la torre de medición Quito Loma se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Rosa de los vientos con veleta a 51 m



Por otra parte, la priorización de emplazamiento de Quito-Loma se lo realizó en base al análisis multicriterio de Villacreses et al. (2017), obteniendo un polígono extenso de 811 pixeles, donde cada pixel representan un terreno de 200 x 200 m, para el aprovechamiento de la energía eólica en el sector. En la Figura 2 se puede observar el área priorizada que cuenta con un alto potencial eólico aprovechable.

811000 814000 3341\*\*92 3805 Potrocunga Santa Bárbara CUNO TOL H Espiga de Oro Cerro Pamba Marca 4071 Jesus del Gran Poder 3989 PAMBA MARCA Cochapa 4071 Cucupuru 3827 LAS COLES HUAYRAMACHA JAMBI MACHA 3884 Pacchapamba La Com PAJONAL МОУОВАМВА HUMILLOS Chichuc 88 • 3782 10 12 13 15 COCHAPAMBA HUAGRAMUÑI 87 CRUZ CUNGA Asociacio Agricola CHICHUCO ALTO Quinchuc Que brada Angascocha 86 Chang 4194 Loma Cangagua Pucará 4217 PAJONAL RESERV 4090 • 4058 4220 • 84 Cerro Pucará Cl Leyenda CU 4092 Poblados y vértices 83 Curvas de nivel Cuerpos de agua 0.5 2 3 Área con potencial eólico: Quilotoa 811000 814000

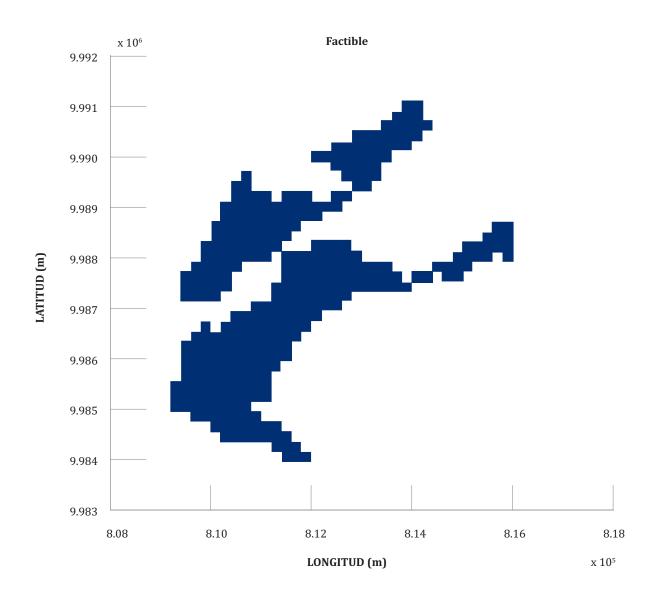
Figura 2. Polígono priorizado por el análisis multicriterio

Fuente: Instituto Geofísico Militar (IGM) - Elaboración Propia

La configuración o distribución de las turbinas en el diseño de un parque eólico es fundamental para aprovechar el recurso eólico disponible en una zona evitando el efecto estela, para ello se desarrolló un algoritmo que permite determinar la ubicación y el número de aerogeneradores que pueden ser instalados en un polígono.

Partiendo del área priorizada se analizan cada uno de los pixeles en los que se podría instalar un aerogenerador, considerando el mejor potencial eólico y las alturas. Para esto se restringen los pixeles que tienen valores superiores a 600 kW del Potencial Eolo-eléctrico; y se encuentren en el rango de alturas de 3500-3800 metros sobre el nivel del mar, de esta manera se obtiene un polígono final de 346 pixeles como se muestra en la Figura 3, el cual es objeto de estudio para la instalación de aerogeneradores.

Figura 3. Emplazamiento priorizado



Tomando en cuenta el ángulo de incidencia del viento se localiza el primer pixel interceptado con la recta perpendicular a la dirección predominante del viento, este pixel sirve de referencia para ubicar las turbinas aguas abajo y a sus lados.

La distancia entre turbinas aguas abajo y laterales se calcula utilizando el diámetro del rotor y la dirección predominante del viento que es un vector que se descompone en latitud y longitud; según la bibliografía analizada se debe considerar 3 a 4 veces el diámetro del rotor en la misma fila (perpendicular a la dirección del viento) y una distancia de 5 a 10 veces el diámetro del rotor entre filas (González Martínez, 2014; Sathyajith, 2006).

Una vez determinadas las distancias entre turbinas, se crea una nueva matriz con las mismas dimensiones que el polígono priorizado y en esta se ubican los pixeles que contendrán las turbinas. Por otro lado, se comparan las dos matrices, la matriz del polígono priorizado y la matriz que contiene las turbinas. Finalmente se ubican los aerogeneradores en el polígono priorizado y se contabilizan las turbinas que pueden ser instaladas en ese polígono.

La configuración o distribución de las turbinas en el diseño de un parque eólico es fundamental para aprovechar el recurso eólico disponible en una zona evitando el efecto estela.

Figura 4. Diagrama de flujo para el posicionamiento de turbinas



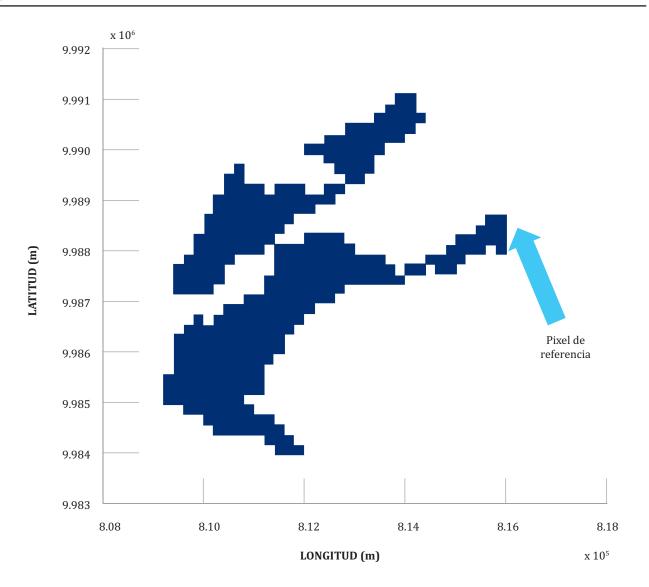
Para determinar la capacidad instalable en el emplazamiento de Quito Loma, se consideró aerogeneradores de 2 MW (MEER, 2013) y tienen un diámetro de barrido de 100 metros.

La capacidad a ser instalada en un parque eólico se estima a partir del número de aerogeneradores que pueden ser instalados en el sitio priorizado y la potencia que entrega cada aerogenerador.

### 3. RESULTADOS

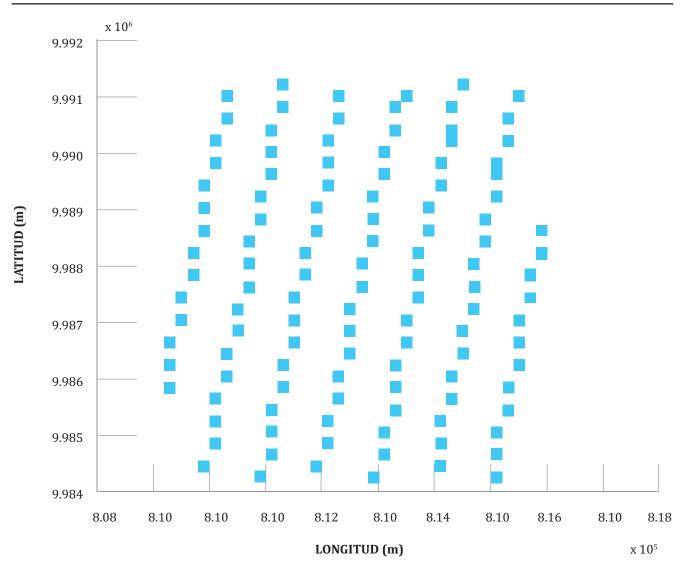
En el emplazamiento Quito-Loma la dirección predominante del viento proviene del este con una ligera inclinación al sur. Por lo tanto el pixel más afectado por esta dirección se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Pixel de referencia seleccionado



La distribución de las turbinas en la nueva matriz se muestra en la Figura 6. La matriz de turbinas tiene el mismo tamaño que la matriz del polígono de priorizado, partiendo del pixel de referencia se recorrió 10 diámetros del rotor aguas abajo y 4 diámetros a sus lados.

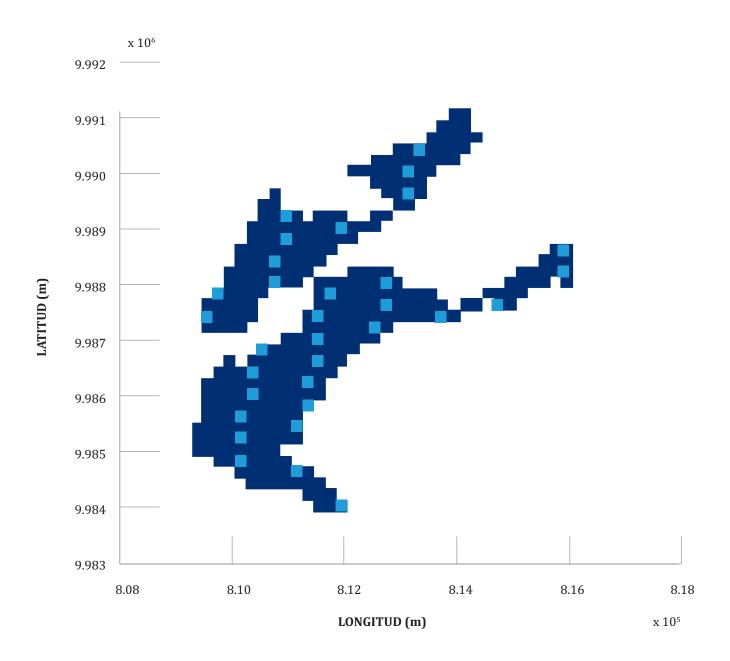
Figura 6. Distribución de turbinas



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7 se muestra la comparación de la matriz de turbinas con la matriz del polígono priorizado, considerando una distancia de 10 diámetros aguas abajo y se obtuvo una capacidad instalable de 64 MW.

Figura 7. Distribución de turbinas en polígono priorizado, 10 diámetros aguas abajo



Fuente: Elaboración propia

En la figura 8 se puede observar la distribución de las turbinas a una distancia de 7 diámetros aguas abajo, en la cual se podrían instalar 49 aerogeneradores y obtener 98 MW.

 $x \; 10^6$ 9.992 9.991 9.990 9.989 LATITUD (m) 9.988 9.987 9.986 9.985 9.984 9.983 8.08 8.10 8.12 8.14 8.16 8.18

Figura 8. Distribución de turbinas en polígono priorizado, 7 diámetros aguas abajo

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta la Tabla  $\bf 1$  con diferentes distribuciones de turbinas y la capacidad instalable de un parque con esas distribuciones.

LONGITUD (m)

 $x \ 10^5$ 

Tabla 1. Capacidad Instalable

Diámetro aguas abajo	Diámetro entre turbinas (laterales)	Número de turbinas	Capacidad instalable (MW)
10	4	32	64
9	4	39	78
8	4	46	92
7	4	49	98

### En el polígono priorizado de Quito-Loma se podrían ubicar máximo 49 aerogeneradores, obteniendo una capacidad instalable de 98MW.

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Para emplazamientos que tengan dirección predominante de viento se puede distribuir las turbinas de manera uniforme con distancias aguas abajo de 10 diámetros y 4 diámetros a los lados.

La metodología aplicada permitió calcular la capacidad instalable en el emplazamiento priorizado en cada uno de los escenarios, es decir a 10, 9, 8 y 7 diámetros de rotor aguas abajo, la diferencia en la potencia instalada entre los escenarios con distancia mínima de 7 diámetros y con distancia máxima de 10 diámetros es de 34.69%, lo cual representa una reducción de 34 MW.

En el polígono priorizado de Quito-Loma se podrían ubicar máximo 49 aerogeneradores considerando la metodología aplicada en este trabajo, obteniendo una capacidad instalable de 98MW.

La selección de un escenario óptimo para determinar la capacidad instalable de un parque eólico debe realizarse en función de la forma del polígono priorizado en estudio ya que normalmente no presentan formas geométricas definidas. Esto aumenta la complejidad para aprovechar el polígono de tal forma que las turbinas no sean afectadas por el efecto estela producido en el parque.

Como trabajo futuro se pretender realizar el micrositing mediante una optimización del algoritmo utilizado para emplazamientos con direcciones predominantes junto con un análisis CFD que determine el factor de rendimiento del futuro parque eólico.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

González Martínez, J. E. (2014). Layout Optimization of offshore wind farms with realistic constraints and options. (Master of Science), Delft University of Technology.

Jensen, N. O. (1983). A note on wind generator interaction

MEER, M. d. E. y. E. R. (2013). Altasl Eólico del Ecuador

Mittal, P., Kulkarni, K., & Mitra, K. (2015). A Novel and Efficient Hybrid Optimization Approach for Wind Farm Micro-siting. IFAC-PapersOnLine, 48(8), 397-402. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.08.214

Samorani, M. (2013). The Wind Farm Layout Optimization Problem. In P. M. Pardalos, S. Rebennack, M. V. F. Pereira, N. A. Iliadis & V. Pappu (Eds.), Handbook of Wind Power Systems (pp. 21-38). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Sathyajith, M. (2006). Wind Energy Fundamentals, Resource, Analysis and Economics. In S.-V. B. Heidelberg (Ed.), Wind Energy (pp. 246).

Serrano González, J., Burgos Payán, M., Santos, J. M. R., & González-Longatt, F. (2014). A review and recent developments in the optimal wind-turbine micro-siting problem. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 133-144. doi: http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.09.027

Şişbot, S., Turgut, Ö., Tunç, M., & Çamdalı, Ü. (2010). Optimal positioning of wind turbines on Gökçeada using multiobjective genetic algorithm. Wind Energy, 13(4), 297-306. doi: 10.1002/we.339

Talayero, A., & Telmo, E. (2011). Energía Eólica (P. Universitarias Ed. segunda ed.). España.

Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., & Jijón, D. J. (2017). Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador. Renewable Energy, 109, 275-286. doi: http://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.041

### VIVIENDA SOSTENIBLE: UNA REALIDAD EN COSTA RICA

Karla Venegas<sup>1</sup>, Alexandra Arias<sup>2</sup>

Recibido: 23/oct/2017 y Aceptado: 27/oct/2017 ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (36-59).



 $^{\rm 1}$  Arquitecta, Master en Diseño Sostenible de la Universidad de Sídney, Australia, amplia experiencia en el diseño e implementación de arquitectura sostenible.

karla@karlavenegas.com

<sup>2</sup> Ingeniera, Master en Energía y Desarrollo, Universidad Twente, Holanda, Especialista Principal Electricidad en OLADE, con amplia experiencia en sector energético en región latinoamericana. alexandra.arias17@gmail.com

#### RESUMEN

Una vivienda sostenible busca optimizar los recursos de forma que al ser construida y habitada, se minimice el impacto en el entorno. Las variables de sostenibilidad deben ser consideradas en todas las etapas: diseño, construcción, utilización y vida útil del inmueble, donde la minimización del balance energético no afecte la comodidad de sus residentes.

El artículo presenta el desarrollo de una casa sostenible, Casa Guarumo, la cual integra el diseño, la arquitectura y la ingeniería para maximizar la estética; gestionar eficientemente el recurso energético; minimizar tiempos de construcción y costos, y dar sostenibilidad a la vivienda.

Desde la compra del terreno, hasta el momento habitarla. los propietarios visualizan la sostenibilidad de la casa. Los estudios preliminares permitieron tomar las decisiones de diseño que impactarían directamente en el funcionamiento adecuado de la vivienda en términos de las estrategias pasivas que se deben utilizar. La casa es inteligente energéticamente, incluye el uso eficiente de energía, generación de electricidad con energía solar, la recolección de agua de lluvia y reutilización de aguas grises y pluviales.

El resultado: una casa sostenible que brinda a sus habitantes calidad de vida, comodidad, seguridad y un ambiente saludable a través de un sano equilibrio con la naturaleza.

**Palabras Claves:** Arquitectura Sostenible, Vivienda Sostenible, Casa Inteligente, Eficiencia Energética.

#### **ABSTRACT**

A sustainable house seeks to optimize resources in order to minimize its environmental impact. Sustainability variables must be considered in all stages: design, construction, occupation and life cycle, where minimizing the energy balance does not affect the comfort of its residents.

The article presents the development of a sustainable house, Casa Guarumo, which integrates design, architecture and engineering to maximize aesthetics; efficiently manage the energy resource; minimize construction times and costs and create a sustainable residence over time.

Since the beginning, owners visualize the sustainability of the house. Preliminary research allowed to make the design decisions that would directly impact on the suitable functioning of the house in terms of the passive strategies that should be used. The house is energy smart, it includes energy efficient consumption, onsite generation of renewable energy through photovoltaic cells and solar water heating, rainwater collection, and the reuse of graywater and rainwater.

The result: a sustainable house that gives its inhabitants quality of life, comfort, security, and a healthy environment through a desirable balance with nature.

**Keywords:** Sustainable Architecture, Sustainable House, Smart Homes, Energy Efficiency.

# 1. INTRODUCCIÓN

Costa Rica, un pequeño país de Centroamérica, con la meta de ser carbono neutral al 2021, apuesta por la construcción sostenible. Organizaciones de diferente índole han trabajado en estrecha relación para definir normas y desarrollar proyectos de vivienda sostenible al alcance de las personas clase media y baja.

En el país se utilizan varios sistemas para evaluar la sostenibilidad de una construcción, las tres principales son: LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), EDGE (Excellence in Design for Greater Efficencies) y RESET (Requisitos para las edificaciones sostenibles en el Trópico). Además, el país cuenta con expertos certificados para hacer las evaluaciones. Según la Cámara Costarricense de la Construcción, el país tiene 31 proyectos certificados con las normas de sostenibilidad y alrededor de 79 en el proceso de certificación. (CCC, septiembre 2017).

El caso de Casa Guarumo (motivo de este artículo), tiene el fin de demostrar que una construcción puede ser sostenible, inteligente, dar comodidad a sus residentes a un costo razonable utilizando estrategias de diseño, ahorro de materiales, mano de obra y tiempo constructivo.

#### 2. CONCEPTOS DE SOSTENIBILIDAD

# 2.1 Conceptos Generales

La sostenibilidad busca un desarrollo en el cual los recursos y necesidades del futuro no se vean comprometidas por los usos del presente. Dicho concepto se aplica en muchos campos, y se enfoca principalmente en el uso y aprovechamiento de los recursos que tenemos, como lo son el agua, la tierra, la vegetación y las materias primas.

## 2.2 Vivienda Sostenible

Una vivienda sostenible busca optimizar los recursos de forma que al construirla y habitarla se minimice el impacto en el entorno. Desde la concepción del diseño se debe analizar las variables bioclimáticas, los ecosistemas del entorno, los materiales de construcción, la posible reducción del consumo de energía y agua, y la posibilidad de generación de energía con fuentes renovables.

Las variables de sostenibilidad deben ser consideradas en todos los procesos: diseño, construcción, utilización y vida útil del inmueble, donde la minimización del balance energético no afecte la comodidad de sus residentes.

Desde la concepción del diseño se debe analizar las variables bioclimáticas, los ecosistemas del entorno, los materiales de construcción, la posible reducción del consumo de energía y agua, y la posibilidad de generación de energía con fuentes renovables.

# Variables bioclimáticas

El diseño sostenible, requiere de información cuantitativa sobre la ubicación para incorporar las medidas necesarias para hacer que la casa sea eficiente, independiente, no contaminante y por lo tanto sostenible. Los datos bioclimáticos básicos requeridos son: temperatura (°C), humedad relativa (%), humedad absoluta radiación solar (W/m²) y dirección de la luz solar, frecuencia, dirección y velocidad del viento, y dirección de las principales lluvias.

# Energía y agua

La eficiencia en el uso de la energía y el agua es un punto clave en el desarrollo de la arquitectura sostenible. Es necesario el uso de diferentes técnicas para reducir las necesidades de estos servicios básicos: ahorro de energía y agua a través del uso de equipos eficientes y su adecuado aprovechamiento, generación propia de energía con fuentes renovables, recolección de agua de lluvia y tratamiento de aguas grises para su reutilización.

## Localización

En la actualidad las personas en busca de una vivienda sostenible buscan una localización donde se encuentren servicios públicos, cercana a vías de comunicación donde puedan mejorar y fortalecer la zona, para disminuir su consumo energético e impactar menos el ambiente.

#### Proceso constructivo

Materiales: Para la construcción de una edificación sostenible, los materiales adecuados son los de baja energía embebida, baja emisión de gases de efecto invernadero, preferiblemente reciclados, de bajo mantenimiento, y se debe utilizar un mayor porcentaje de materiales con contenido reciclado y además, reciclables. Se debe evitar el uso de maderas provenientes de bosques nativos y utilizar aquellas de cultivos con ciclos cortos de reposición como el pino u otras especies.

Manejo de residuos: Para que el proceso constructivo sea sustentable se requiere el uso y tratamiento de los residuos en el sitio, incorporando materiales que se puedan reutilizar, evitando al máximo el desperdicio de materiales y los residuos se deben enviar a centros de reciclaje de acuerdo al tipo de material.

Para el tratamiento de residuos cuando la vivienda sea habitada, en el diseño se debe

incluir sistemas de tratamiento de aguas grises mediante filtros y estabilización biológica con vegetación acuática. Además se debe pensar en la separación de basura y la producción de compost a partir de basura orgánica para ayudar a reducir al mínimo la producción de desechos.

### 2.3 Casa Inteligente

En la década de los años 70's surge el término domótica con la aparición de algunos instrumentos de automatización a modo de control de algunas actividades. Al pasar los años, con los cambios tecnológicos, y con la introducción de las computadoras personales en los años 90, el concepto va evolucionando de un tema un poco teórico y de difícil acceso por el costo, a la práctica. Es aquí donde se introduce el concepto de vivienda inteligente (edificación).

Se define una casa como inteligente cuando ésta se puede controlar fácilmente, incluso a distancia, a través de la automatización de sistemas eléctricos, electrónicos, robótica, informática y comunicaciones. La Asociación Española de Domótica e Inmótica¹ indica que una casa inteligente tiene un conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite la gestión eficiente del uso de la energía, aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el sistema (CEDOM, 2017).

Al habitar una casa inteligente se logra una mejor calidad de vida a través de:

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Domótica: Es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, que aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el sistema. Inmótica: Es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de edificios *no destinados a vivienda*, como hoteles, escuelas, hospitales, etc.

Ahorro energético: Gestión inteligente del consumo de energía (iluminación, cocción, agua caliente, electrodomésticos, etc.), aprovechando mejor los recursos disponibles. Mediante la medición inteligente, se obtiene la información necesaria para modificar hábitos de consumo y aumentar el ahorro y la eficiencia con el fin último de disminuir la factura energética.

**Control del tiempo**: Al automatizar las tareas los residentes de una casa ahorran tiempo en momentos que son más necesarios.

**Seguridad**: Mediante la vigilancia automática del inmueble y su ambiente, así como el control automatizado de incidentes y averías, a través de alarmas que permitan detectar incendios, fugas de gas, inundaciones de agua, fallos del suministro eléctrico, etc.

Confort: La vivienda puede a ser más confortable a través de la gestión de dispositivos y actividades domésticas. Los sistemas inteligentes permiten controlar (abrir, cerrar, apagar, encender, etc.) equipos de climatización, ventilación, iluminación, puertas, cortinas, sistema de riego, suministro de agua, gas, electricidad, etc.). Esto no solo permite el confort de los habitantes, sino que también logra una mayor eficiencia en el uso de energía natural y la que brinda los servicios.

Comunicaciones: Mediante el control y supervisión remota de la vivienda a través de dispositivos inteligentes o computadoras, se logra la recepción de avisos de averías e información del funcionamiento de equipos e instalaciones, como por ejemplo la generación de los sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas permiten la transmisión de voz y datos, incluyendo textos, imágenes, sonidos (multimedia) con redes locales (LAN) y compartiendo acceso a Internet; recursos e intercambio entre todos los dispositivos, acceso a nuevos servicios de telefonía IP, televisión digital, por cable, diagnóstico remoto, videoconferencias, tele-asistencia, etc.

La red de control de un sistema inteligente se integra con la red de energía eléctrica y se coordina con el resto de redes con las que tenga relación: telefonía, televisión y tecnologías de la información. Todas las redes interactúan y coexisten en la instalación de la vivienda.

Se define una casa como inteligente cuando ésta se puede controlar fácilmente, incluso a distancia, a través de la automatización de sistemas eléctricos, electrónicos, robótica, informática y comunicaciones.

### 3. CASA GUARUMO: UNA VIVIENDA SOSTENIBLE

A la vivienda, objeto de este artículo, se le da el nombre de Casa Guarumo ya que la propiedad cuenta con siete árboles de guarumo (nombre científico: cecropia peltata) en diferentes etapas de desarrollo.

Casa Guarumo integra el diseño, la arquitectura y la ingeniería para maximizar la estética; gestionar eficientemente el recurso energético; minimizar tiempos de construcción y costos y dar sostenibilidad a la vivienda.

# 4. GESTIÓN DEL PROYECTO

Los propietarios de la residencia escogen Ciudad Colón para asentar su hogar por las condiciones favorables que presenta el distrito en cuanto a características sociales, ambientales, climáticas y administrativas. Además, es un distrito que cuenta con excelentes vías de comunicación, acceso a servicios básicos generales de excelente calidad y se encuentran locales de comercio verde sustentable.

Al estar involucrados los propietarios, como parte de su experiencia laboral, en el tema energético, al decidir construir su casa, toman la decisión de que esta debe ser diseñada y construida para ser "vivida" bajo el contexto de sostenibilidad. El objetivo es aprovechar al máximo las condiciones naturales que presenta su ubicación, para disminuir las necesidades energéticas generales, utilizando elementos de diseño, tecnologías eficientes y reutilización de materiales.

Para el logro del objetivo se busca un arquitecto que tenga amplios conocimientos en arquitectura sostenible, tanto a nivel teórico como experiencia práctica en construcción.

Para la etapa de diseño se decidió por una profesional que estudió arquitectura e ingeniería civil con una maestría en Arquitectura Sostenible en la Universidad. Un aspecto importante es la sinergia conceptual que existió desde el inicio entre la arquitecta y los propietarios.

Al buscar una empresa constructora se decidió por una empresa con amplia experiencia en el país, que construye obras de alta calidad tecnológica, con eficiencia y que cuyo personal tiene experiencia y están capacitados en sus respectivas áreas de trabajo. A su vez, esta empresa cumple con la normativa existente en cuanto a respeto de derechos humanos, garantías sociales, seguros laborales, salarios y honorarios de ley que establece el país.

# 4.1 Contexto socio económico del distrito donde se ubica Casa Guarumo

Casa Guarumo se ubica en Ciudad Colón, distrito número 1 y cabecera del cantón de Mora, en la Provincia de San José en Costa Rica. El cantón de Mora está ubicado en la Gran Área Metropolitana, donde se ubican las principales ciudades del país, que forman una gran área urbana y comparten

entre sí los espacios de residencia, trabajo, recreación y servicios.

De los aspectos positivos que tiene el cantón de Mora es que presenta una población mayoritariamente joven, hay diversidad cultural, las actividades económicas principales son las correspondientes a los sectores agrícola y servicios y hay acceso a todos los servicios (electricidad, agua potable, alcantarillado, internet, telefonía y televisión) en la mayor parte del cantón (Municipalidad Mora, 2017).

A pesar de que el nombre Ciudad Colón indica ciudad, realmente es un pueblo que mide 57,82 km² y tiene una población estimada de 18000 habitantes (INEC, 2015). Se encuentra a una altitud de 840 msnm y a una distancia de 21 km al suroeste de San José, la capital del país. El clima es de tipo tropical, la temperatura promedio es de 23°C, con vientos del SO a 11 km/h y humedad del 95 %. La precipitación media anual es 2066 mm

El Índice de Desarrollo Humano del Cantón de Mora es de 0,826, superior al de Costa Rica que es de 0,776, y al del promedio de América Latina y el Caribe que es de 0,751 (PNUD, 2016).

# 4.2 Ubicación

Casa Guarumo es una edificación de tipo residencial, ubicada en un terreno de 1000 m² con una inclinación fuerte hacia el lado sur de la propiedad.

La elección por parte de los propietarios del terreno fue una opción pensada en el aprovechamiento del panorama que se puede admirar. Se determinó que construir la casa en el terreno inclinado daba ventaja a sus moradores:

- Al tener una vista espectacular de la ciudad, las montañas y bosque que la rodean, por lo que se definió como un mirador natural
- Además, el diseño se adaptó al terreno

permitiendo aprovechar las vistas y las condiciones del viento y el sol para su máxima conveniencia.

Las habitaciones están orientadas hacia el noroeste para aprovechar el panorama que ofrece la ubicación del terreno.

La urbanización donde se localiza cuenta con 23 hectáreas de terreno, con áreas de bosques (con dos ríos y tres cascadas naturales) y 2 km de senderos a lo largo del río para el esparcimiento de sus habitantes, así como un paisaje natural rural con abundante flora y fauna.

Los trabajos de urbanización del residencial modificaron la topografía existente y eliminaron la capa vegetal superior, junto con la fauna autóctona de la zona, por este motivo se buscó un diseño paisajístico con especies autóctonas y adaptadas al régimen pluvial del lugar que permitan recuperar los hábitats existentes y atraer nuevamente la fauna local.

#### 4.3 Infraestructura

La urbanización donde se localiza Casa Guarumo tiene un reglamento muy estricto de construcción y cuenta con ingenieros y arquitectos (asesores) para validar dicho reglamento. La vivienda tiene una cobertura de un 15% del terreno. Aprovechando la inclinación del terreno se construye en tres plantas: en el sótano el área de garajes, a nivel del suelo las áreas sociales y en la planta alta los dormitorios. La vivienda cuenta con 260 m² de construcción donde se incluye un mirador ubicado en la parte alta del terreno. La

altura total desde el sótano es de 9.8 metros. De acuerdo a los materiales usados se espera una vida útil de la residencia de 60 años, sin embargo si tiene un adecuado mantenimiento la vida útil puede ser mucho mayor.

### 4.4 Estudios Preliminares

Previo a iniciar el diseño de la vivienda se realizaron diversos estudios preliminares para tomar las decisiones de diseño que impactarían directamente en el funcionamiento adecuado de la vivienda en términos de las estrategias pasivas que se deben utilizar.

Se realizó un estudio de suelos para determinar la capacidad soportante del suelo, en el cual se determinó que el sector con la mejor resistencia se ubica al lado este del terreno. Además, se realizó una prueba de infiltración donde se determinó que el terreno en cuestión cuenta con una tasa de infiltración baja, por lo que se recomendó instalar un filtro anaeróbico de flujo ascendente para tratar las aguas residuales, y se determinó que se requerirían amplias áreas verdes para el drenaje de los efluentes.

Durante las visitas al sitio y con base en el levantamiento topográfico realizado, se pudo observar que el sitio más apropiado para construir un sótano según lo deseaban los clientes, así como para aprovechar la vista, evitar que las construcciones cercanas bloquearan la vista, y para dar privacidad a la vivienda con respecto a los vecinos era el sector este, el cual además coincidió con el sector de mayor resistencia a la compresión en el suelo.

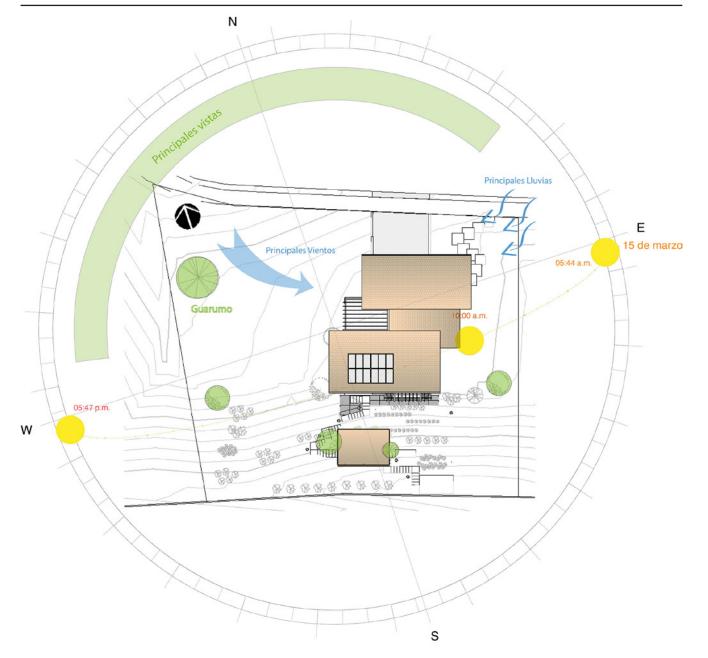


Figura 1. Análisis de sitio con principales vientos, lluvias, vista, vegetación y soleamiento

Posteriormente, se realizó un análisis climatológico para determinar la dirección de procedencia de los vientos y lluvias predominantes, y de esta forma determinar la configuración de la vivienda, así como las principales aberturas y elementos de sombra de la misma.

#### Foto 1. Mediciones climáticas en sitio



Fuente. Arq. Karla Venegas, 2016.

Por otro lado, se verificó la disponibilidad de agua y energía en el residencial, a pesar de que la vivienda tendrá un alto nivel de autonomía en estos aspectos, y se revisaron las regulaciones correspondientes para respetar en todo momento los lineamientos establecidos para la construcción en esta propiedad.

## 4.5 Aspectos Socio Económicos

Durante la etapa de construcción se buscó trabajar con una empresa socialmente responsable, que respete la legislación vigente en términos de seguridad social, seguros de riesgos del trabajo, salarios mínimos y demás.

En la medida de lo posible se buscó contratar mano de obra local, esto con el objetivo de incentivar la economía local y minimizar los tiempos de desplazamiento así como los costos y gastos de combustible.

Por otro lado, la empresa constructora estuvo encargada de proveer el equipo de seguridad requerido para realizar cada uno de los trabajos y de velar por la integridad física de los trabajadores en todo momento.

#### 4.6 Entorno

La comunidad cuenta servicios públicos de muy buena calidad. Sus habitantes disponen de servicios médicos y educación (estatales y privados), además se cuenta con comercios y servicios de toda índole. Hay un mercado municipal, con una feria de productos agrícolas orgánicos, parque e iglesias de diferentes credos, así como los servicios necesarios para una vida tranquila. La Municipalidad de Mora tiene un plan de recolección de elementos reciclables (vidrio, plásticos, metales, etc.) dos veces por mes, que incluye a la urbanización donde se ubica Casa Guarumo.

La urbanización se encuentra cerca de la zona de protección de los cerros de Escazú, por este motivo las parcelas tienen un área mínima de 1.000 m<sup>2</sup> y un porcentaje de cobertura máximo del 30%, con el fin de evitar una alta densificación en este sector. Además, un 30 % del área total de la urbanización está destinada a áreas verdes (incluye zona protegida y las áreas verdes que por reglamento deben dejar los condóminos). La zona específica donde se ubicaron las parcelas corresponde a un sector que había sido deforestado previamente para dar paso a potreros para ganado, mientras que las áreas verdes que se conservaron corresponden a aquellas en donde había bosque nativo. Además, las parcelas se ubicaron en sectores donde no hubiera riesgo de deslizamiento ni de inundación.

El desarrollador está implementando un plan de reforestación dentro del proyecto, un área aproximada de 5.000 m², donde ya se han sembrado más de 600 árboles nativos de la región y que da más naturaleza a sus habitantes y ofrece a los pobladores de Ciudad Colón un pulmón de aire puro dentro del cantón.

Como se mencionó anteriormente, el terreno escogido cuenta con una vista privilegiada hacia el noroeste, donde se puede ver el sector oeste de la Gran Área Metropolitana, por lo que se buscó emplazar la vivienda de forma que los espacios

# Foto 2. Vista desde la parte superior del talud al sur de la propiedad



Fuente. Arq. Karla Venegas, 2016

habitables aprovechen esta vista, así como la vista hacia el norte donde se ubican las montañas con cobertura boscosa.

A pesar de que la vivienda cuenta con tres niveles, se respetaron los 10 m de altura máxima permitida por el Plan Regulador y se ubicaron solamente dos niveles sobre el nivel del suelo, tal como se exige en el reglamento del condominio. Esto permite adaptar la vivienda a la escala del entorno inmediato y por tanto no bloquear la vista de edificaciones cercanas.

#### 4.7 Diseño

El clima en Ciudad Colón es cálido durante la mayor parte del año, y las temperaturas externas exceden en muchos casos los valores de confort térmico. Por este motivo, se buscó implementar en el diseño estrategias pasivas para lograr un ambiente interno confortable, siendo la principal estrategia la ventilación natural.

Se realizaron mediciones en sitio para determinar la dirección de los principales vientos y de esta forma orientar la vivienda para aprovecharlos al máximo. La planta de la vivienda presenta una configuración en forma de C que permite que todos los espacios habitados cuenten con ventilación cruzada, y se diseñaron las aberturas de forma tal que se maximice el aprovechamiento de la brisa.

Según se determinó en el análisis climatológico, el principal viento proviene del oeste, de las faldas de la montaña. Por este motivo, se diseñaron ventanales amplios en esta fachada y salidas más pequeñas en las demás caras de la edificación, para lograr de esta forma una presión positiva que maximiza la ventilación natural para lograr una ventilación cruzada. (Ver Figura 2 en la siguiente página.)

Se diseñaron aleros amplios en todas las fachadas para proveerles protección del sol y de la lluvia. Además, se diseñaron voladizos en el segundo nivel en las fachadas sur y oeste para funcionar como aleros al primer nivel, y sobre los ventanales del segundo nivel de la fachada oeste se diseñó una marquesina que provee sombra sobre los mismos. Adicionalmente, se utilizaron vidrios tintados para reducir el ingreso de radiación al interior. En la figura 3 se puede observar el funcionamiento de estos elementos proveedores de sombra en horas de la tarde. (Ver Figura 3 en la siguiente página.)

Figura 2. Diagramas de ventilación cruzada en el Nivel 1 y Nivel 2 de la vivienda

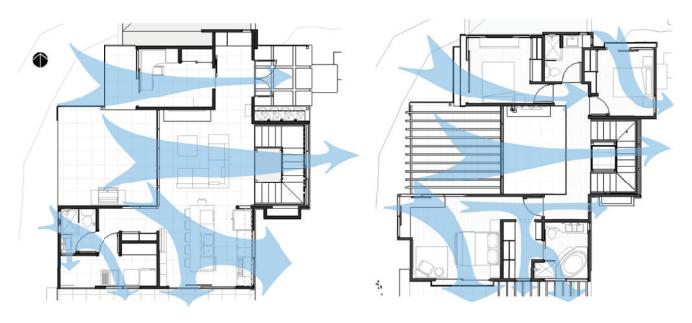
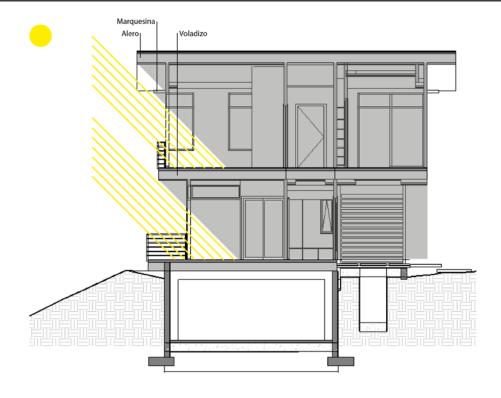
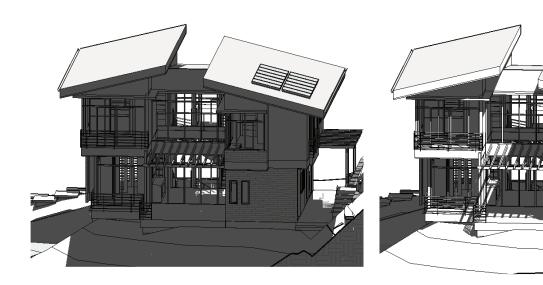


Figura 3. Sección longitudinal donde se puede ver el soleamiento en horas de la tarde



Fuente: Arq. Karla Venegas, 2017

Figura 4. Análisis de soleamiento en la fachada oeste el 15 de marzo a las 9am y 3pm



Dado que la fachada sur es una de las que recibe mayor asoleamiento durante los meses de verano se buscó proveer de sombra a la misma para proteger el interior de la radiación directa. En esta fachada se procuró dejar aberturas más pequeñas, y en la distribución se trató de ubicar espacios no habitables como lo son el cuarto de pilas, el walk-in closet y los baños. Esto mismo

se procuró con la fachada este, en la cual se ubicó el ducto de escaleras y elevador, así como el vestíbulo y el baño principal, espacios que funcionan como un buffer de temperatura para los espacios habitables. Además, se aprovechó para dejar espacios no habitables en esta fachada como estrategia de privacidad, ya que es la que está más cercana a la colindancia.

Figura 5. Análisis de soleamiento en las fachadas este y sur el 15 de marzo a las 9am y 3pm



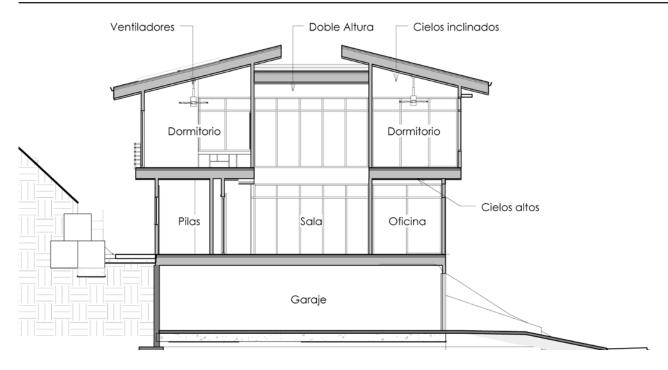


Fuente: Arq. Karla Venegas, 2017

Se trabajó con alturas de piso a cielo amplias, las cuales también contribuyen a mejorar el confort térmico dentro de la edificación. En el sector de la sala se dejó una doble altura para aprovechar la ventilación que entra por el amplio ventanal del lado oeste, y en los dormitorios ubicados en el segundo nivel se dejaron los cielos inclinados

siguiendo la estructura del techo. Además, en los dormitorios se dejaron ventiladores como primera opción de ventilación forzada en caso de que no se logre el confort térmico durante los días más calientes del verano, tratando de evitar al máximo la necesidad de instalar equipos de aire acondicionado.

Figura 6. Vistas de diseño para confort térmico



Fuente: Arq Karla Vengas, 2017

Tanto en las fachadas como en el interior se utilizaron colores claros en pisos y paredes para aumentar la reflectividad de las superficies y disminuir el efecto de isla de calor que pueda generar la vivienda.

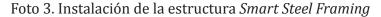
#### 4.8 Materiales

Se opta por una estructura de "Smart Steel Framing"<sup>2</sup>, la cual permite tener menores costos y una reducción considerable en mano de obra y tiempo de construcción. La producción y ensamblaje se realiza en la planta del fabricante con apoyo computacional, por lo

tanto, la construcción es más rápida, precisa y minimiza el desperdicio de materiales. Según datos del proveedor el desperdicio es menor al 1%, comparado con desperdicios en sistemas tradicionales que están entre 15% y 20%. Este sistema utiliza perfiles de acero galvanizado para las estructuras, incluyendo techos, paredes, entrepisos, escaleras y otros.

En cuanto al tema de eficiencia energética el sistema "Smart Steel Framing" logra un elevado nivel de aislamiento térmico mediante el uso de materiales aislantes en la cavidad interior de los paneles de una estructura, con el consiguiente ahorro de costos por consumo de energía para acondicionamiento de las habitaciones.

 $<sup>^{2}\ \</sup>textit{Smart Steel Framing}$ son estructura de acero galvanizado.





La estructura de acero galvanizado ayuda además a reducir considerablemente el peso de la edificación con respecto a métodos tradicionales de construcción, como lo son los bloques de mampostería por ejemplo. Esta reducción en el peso permite diseñar cimientos más pequeños, los cuales resultan en menores costos gracias a una menor necesidad de acero de refuerzo, movimientos de tierras y sustitución de suelos. Este tipo de estructura cumple con el Código Sísmico de Costa Rica.

Por otro lado, la estructura resulta interesante bajo el contexto de la sostenibilidad ya que al final de su vida útil la misma puede ser desmantelada, reciclada y/o reutilizada, ya que va instalada en su totalidad con tornillos, los cuales permiten una fácil instalación y desmantelamiento. De la misma manera, elementos como las tejas y las láminas de hierro galvanizado del techo, la ventanería, la

tubería y el revestimiento de las paredes pueden ser desinstalados para su reutilización.

Las dimensiones de los espacios y de las aberturas se trabajaron cuidadosamente con la intención de modular las láminas del cerramiento exterior para minimizar su desperdicio, por lo que muchas de las dimensiones de los cerramientos en las fachadas coinciden con múltiplos o submúltiplos de 1,22m (0,81m, 0,61m, 0,407m, 0,305m). Esta modulación coincide además con el aprovechamiento de la estructura utilizada, la cual normalmente se trabaja a distancias de 0,61m, y también coincidió con el enchape de piso elegido, el cual es un porcelanato<sup>3</sup> de 0,60m.

 $<sup>^3</sup>$  Producto fabricado a partir de una combinación de cuarzos, arcillas y otros materiales, que se procesan a una temperatura de más de 1.300  $^{\rm o}$ C, por lo tanto son muy resistentes.

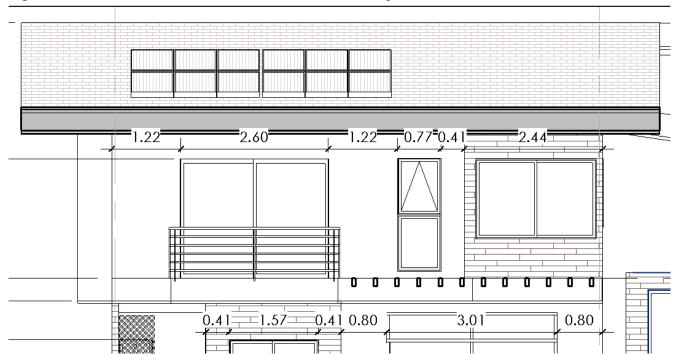


Figura 7. Detalle de la fachada este con modulación de los paños de cerramiento exterior

En las cubiertas, respetando el reglamento del condominio, se optó por instalar teja plana, la cual también ayuda a conservar un ambiente interno agradable gracias a sus propiedades térmicas. Por un lado, trabaja como masa térmica ya que durante el día absorbe lentamente el calor y disminuye su velocidad de ingreso al interior, y durante la noche dispersa este calor, ayudando a mantener una temperatura interna relativamente homogénea. La forma en que está instalada permite un flujo de aire por debajo de las tejas que ayudan a dispersar el calor durante el día, y el material en que están fabricadas hace que sean de bajo mantenimiento.

Tanto la teja como las láminas de fibrocemento de los cerramientos, la estructura de acero galvanizado, la ventanería y el concreto son materiales fabricados en el país, lo cual disminuye la energía embebida de cada uno de los ellos.

Las pinturas utilizadas son producidas en Costa Rica, y se verificó que cada una de ellas tuviera un bajo o nulo contenido de compuestos orgánicos volátiles, los cuales resultan dañinos para la salud. Lo mismo se verificó para los tintes de madera y selladores utilizados en el proyecto.

Para la ventanería se escogió la línea "Europa", la cual destaca por los perfiles robustos que utiliza, los cuales permiten un alto grado de aislamiento térmico y acústico, así como resistencia a la corrosión, bajo mantenimiento y resistencia a cargas altas de viento.

La madera utilizada en pérgolas, puertas, escaleras y muebles se escogió pino de plantación para evitar la tala de árboles de bosques nacionales.

Desde la etapa de diseño, el manejo de residuos fue un tema prioritario. Como ya se ha comentado, el diseño disminuyó al máximo el desperdicio de materiales, se utilizaron formaletas de metal rentadas para los encofrados y los materiales metálicos sobrante se llevaron a vender a una recicladora. La empresa constructora dona los fondos de esta venta de materiales a una institución que atiende niños en riesgo social.

Foto 4. Vista general del terreno



# 4.9 Paisajismo

En vista de que el terreno presenta una ladera en el lado sur (la cual es aprovechada para la construcción de un mirador) y un alto deterioro de la capa vegetal superior debido a la urbanización, fue necesario analizar opciones para prevenir deslizamientos y la erosión del suelo por la escorrentía de las aguas de lluvia. Para empezar, se realizó el análisis de textura y químico de suelos en los laboratorios del Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. Los resultados indican que el suelo tiene una composición de un 38% arena, un 22% limo y un 40% arcilla por lo que se determinó que la clase textural del terreno donde se ubica la residencia es franco arcilloso. Además, el mismo Centro realizó un análisis químico del suelo con los siguientes resultados:

Cuadro 1. Análisis Químico de Suelos

#### Análisis Químico de Suelos

Solución Extractora: KCI-Olsen Modificado		рН	cmol(+)/L					%	mg/L				
		H <sub>2</sub> 0	ACIDEZ	Ca	Mg	К	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,5	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5
MORA, COLON	S-17-00352	6,3	0,58	9,96	12,25	0,20	22,99	3	2	2,1	3	19	9

Los valores debajo de cada elemento corresponden con los Niveles Críticos generales para la solución extractora usada.

CICE = Capacidad de intercambio de Canones Efectiva = Acidez + CA + Mg + K

SA = Porcentaje de Saturación de Acidez = (Acidez/CICE)\*100

Fuente: Estudio de Centro Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, 2016

Dadas las características de textura y químicas del terreno, se determinó que la opción más adecuada y a su vez más amigable con el ambiente es la siembra de zacate Vetiver, debido a que ayuda a prevenir la erosión de suelos mejor que otros materiales vegetativos ya que actúa como una barrera que atrapa los sedimentos formando una terraza natural, disminuye la velocidad del agua a lo largo del talud y distribuye el escurrimiento del agua en un rango más amplio. Además, sirve para estabilizar el camino que llega al mirador y el terreno inclinado de la propiedad, previniendo su desgajamiento y erosión.

El zacate Vetiver puede crecer hasta 2 metros, sus tallos son altos, las hojas son largas, delgadas y rígidas. Sus raíces crecen de manera vertical y pueden alcanzar una profundidad de hasta cinco

metros. Las hojas y cepas del vetiver sirven como abono orgánico del suelo, mejoran la proporción entre el carbón y nitrógeno, y las propiedades químicas y físicas de los suelos.

Otra propiedad muy interesante para los propietarios del inmueble en desarrollo es que el Vetiver, una planta con fotosíntesis de fijación de carbono C4 (incorporan el  $\mathrm{CO_2}$  en otros compuestos, como una adaptación para soportar mejor la luz solar intensa y la sequía), tiene el potencial de capturar 1 kg de  $\mathrm{CO_2/m^2/año}$  y fijarlo en la profundidad el suelo. El Vetiver está al servicio del ecosistema contribuyendo a las economías globales y regionales por sus múltiples aplicaciones y ofrece oportunidades sustentables para la captura de  $\mathrm{CO_2}$  (www.vetiver.org).

Foto 5. Vetiver creciendo en hileras en el talud



Fuente: Arq. Pamela Salas, 2017

La empresa que se escogió para realizar la siembra de Vetiver no utiliza bolsas plásticas para los almácigos, sino que utilizan recursos de la misma finca como el Bambú y otros materiales orgánicos, además genera trabajo a miembros de la comunidad donde se ubica (zona rural de Costa Rica).

Para el área de jardines se sembraron especies nativas de la zona para atraer fauna local y ayudar a recuperar el ecosistema y corredor biológico. Además, se están protegiendo las coberturas vegetales naturales del talud. La restauración ecológica a escala de paisaje se determinó como una prioridad, ya que se quiere restaurar biodiversidad, la zona cuenta con gran cantidad de especies de flora y fauna muy interesantes.

Además, los propietarios sembraron árboles frutales para consumo propio y de la fauna de

la zona, así como la vegetación requerida por mariposas para lograr la atracción de varias especies a los jardines.

Otro punto importante es que en la propiedad se destinó un área para huerto familiar. Para generar abono orgánico se hace compost<sup>4</sup> con lombrices y de paso reutilizar los desechos orgánicos generados en la residencia. En el huerto y jardines se planifica tener una amplia variedad de especies comestibles, medicinales, ornamentales y alelopáticas.

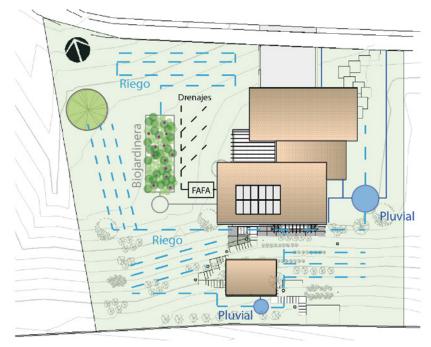
# 4.10 Optimización de recursos

# 4.10.1 Agua

Durante los meses de enero a abril la precipitación en el sector de Ciudad Colón disminuye considerablemente, por este motivo se buscó aprovechar las aguas residuales para el riego del jardín. En el sector este de la propiedad se ubicó un tanque de almacenamiento de aguas pluviales para procurar su aprovechamiento en el sistema de riego, además de funcionar como un sistema de retención para no recargar el alcantarillado pluvial de la urbanización durante los eventos de lluvia extrema.

Por otro lado, se decidió instalar sistemas de tratamiento independientes para las aguas grises y las negras. En el caso de las aguas grises se diseñó una biojardinera que recoge las aguas de lavatorios, duchas y pila de lavar ropa y las pasa por una serie de plantas fitodepuradoras que limpian el agua antes de descargar la misma a un sistema de mangueras de riego en el sector noroeste de la propiedad. Las aguas negras son enviadas a un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), el cual garantiza un efluente con una baja carga de sólidos, lo cual permite prolongar la vida útil de los drenajes en terrenos donde la tasa de infiltración es muy baja. Los drenajes del FAFA se ubican en la terraza al oeste de la vivienda, con la intención de mantener la vegetación en este sector irrigada por los mismos.

Figura 8. Tratamiento de las aguas residuales en el proyecto



Fuente: Arq. Karla Venegas, 2017

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Proceso de transformación de la materia orgánica (cascaras de frutas y verduras, papel, etc.) en abono orgánico.

La vivienda cuenta con tres baños completos en los cuales se instalaron dispositivos de consumo eficiente tanto en duchas como en lavatorios e inodoros. Las cacheras de las duchas, lavatorios y cocina son de alta eficiencia. Los inodoros son de doble descarga, con consumos de 3 y 4,8 l/s.

El sistema de riego instalado en el talud cuenta con un sensor de lluvia el cual permite el funcionamiento sólo cuando no ha habido precipitación en las últimas 12 horas. Además, cuenta con un tanque de captación que recibe agua pluvial del techo del mirador, así como agua pluvial proveniente de la casa. Solo en el caso de que no haya agua llovida se utiliza el agua potable para el llenado de este tanque.

# 4.10.2 Energía

#### Generalidades

La casa ha sido diseñada bajo el concepto de inteligencia energética. Este concepto incluye en primer lugar la eficiencia energética, la cual consiste en el ahorro y uso inteligente de la energía sin pérdidas ni desperdicios, utilizando la mínima energía y manteniendo la calidad de bienes y servicios, para conservar el bienestar de sus moradores. El consumo energético de la vivienda se disminuyó a través de un concepto de construcción bioclimático, la elección de equipos

electrodomésticos e iluminación de alta eficiencia y de la instalación de sistemas inteligentes para el control de la demanda energética.

En segundo lugar, a través de la generación de la energía requerida, utilizando fuentes de energía renovable, en este caso la energía solar fotovoltaica. En Costa Rica desde hace algunos años existe la regulación y la normativa para la generación distribuida, por lo que los propietarios deciden acogerse a esta normativa para generar la electricidad que necesitan y con esto ayudar a reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Se instalará un sistema de control inteligente para garantizar el ahorro energético en la residencia. Este sistema permite automatizar, gestionar y controlar, cerraduras, cámaras, persianas, puerta de garaje, sistemas de riego e iluminación y equipos entre otras cosas.

Para la compra de equipos y electrodomésticos se contó con la asesoría del Laboratorio de Eficiencia Energética del Instituto Costarricense de Electricidad, así como la revisión de las etiquetas de eficiencia para los equipos que la tienen (refrigeración, por ejemplo).

Todos los equipos e instalaciones cumplen con la normativa eléctrica nacional e internacional.

Control desde computadora o Equipos Inteligentes Sistema fotovoltaico Sistema Inteligente Electrodomésticos Riego e iluminación REDES Temperatura Vehículo y humedad eléctrico Ventanas, Control puertas y persianas de cargas Detectores de movimiento

Figura 9. Configuración del sistema inteligente

Fuente: Propia con información de varios proveedores de equipos

# Aprovechamiento de luz natural

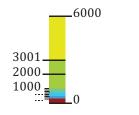
Gracias al diseño que tomó en cuenta las variables bioclimáticas hubo una reducción en el consumo eléctrico, al aprovechar la luz natural. En la figura 10 se puede observar cómo la mayoría de los espacios cuentan con abundante iluminación

natural durante el día, lo cual ayuda a disminuir la necesidad de iluminación artificial en estos espacios. Los gráficos mostrados corresponden al mes de septiembre, en horas de la tarde (3pm).

Figura 10. Resultados de Análisis de Iluminación

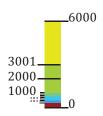


# **Lighting Analysis Results Nivel 1 (LUX)**



Illuminance values of Lighting Analysis X: 9/23 clear sky 3 p.m.

**Lighting Analysis Results Nivel 2 (LUX)** 



Illuminance values of Lighting Analysis X: 9/23 clear sky 3 p.m.

Fuente Arq. Karla Venegas

# Calentador de agua solar

El principal motivo de los propietarios al instalar el calentador solar de agua, es que se aprovecha de manera eficiente una energía limpia, renovable, y segura como lo es la energía solar, se contribuye de manera importante en la reducción de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, y se mejora de forma significativa la calidad del aire.

Se instaló un calentador de agua solar de alta eficiencia de 300 litros, de alta presión con un respaldo eléctrico 120V 1500W. Es un colector solar de tubos de vacío con tecnología "heat pipe". el cual utiliza agua y polvo de cobre como fluido, que al calentarse se evapora ascendiendo hasta un intercambiador ubicado en el extremo superior del tubo. Una vez allí, se enfría y vuelve a condensarse, transfiriendo el calor al fluido principal. Se optó por este sistema porque presenta la ventaja de que para climas de calor más fuertes como el de Ciudad Colón, una vez evaporado todo el fluido del tubo, éste absorbe mucho menos calor, por lo que es más difícil que los tubos se deterioren o estallen. También presenta la ventaja de perder menos calor durante la noche, pues la trasferencia de calor sólo se produce en una dirección. Otra ventaja es su mayor versatilidad para integrarse a la arquitectura de la casa, pues al ser cilíndricos, toleran variaciones de hasta 25ºC sobre la inclinación idónea sin pérdida de rendimiento. A esto hay que añadir la menor superficie necesaria que requieren y por su forma son más eficientes ya que reciben los rayos solares perpendicularmente durante todo el día.

El agua caliente se utiliza en baños, cocina y lavadero, donde se instalaron regaderas de baños y grifos de cocina ahorradoras de alta presión, las cuales mezclan el chorro de agua con aire, consiguiendo un aumento del volumen del chorro, lo que permite ahorros de agua hasta de un 40%. Además, la lavadora de ropa es de alta eficiencia.

#### Sistema Fotovoltaico

Para la Casa Guarumos se decidió por paneles solares que especificaron un alto rendimiento energético del sistema en condición de baja radiación y bajo NOCT (Normal Operating Cell Temperature). Son 6 módulos policristalinos con dimensiones de 1,95 × 0,98 × 0.04 metros, de 320 watts y eficiencia de 17%. Ocupan un área de 12 metros cuadrados. El cálculo se hizo con base a un consumo anual de 4400 kWh, por lo tanto, se instalan 1,92 kWp. Los módulos se instalan en el techo con orientación hacia el sur y con una inclinación de 15 grados, según las recomendaciones internacionales.

Se utiliza micro inversores de 250W, 240/208VAC, 60Hz, 16-45VDC, se decide por estos porque son versátiles ya que permiten la ampliación del sistema a futuro sin la complejidad de la potencia de los inversores grandes y además son compatibles con módulos 72 celdas como los adquiridos. Trabajan en corriente alterna y tienen conexión a tierra integrada. Tienen un rendimiento máximo de 96,5 %.

También se decide instalar un respaldo al sistema fotovoltaico en caso de fallo del sistema interconectado, por lo tanto, se instala 2 baterías de GEL, 12V, 200Ah con un inversor/cargador 800 VA–5 kVA. El respaldo será para equipos básicos y para un máximo de 3 horas de falla del sistema. La batería es sellada por lo que no requiere mantenimiento, puede funcionar en cualquier posición y se puede utilizar cerca de personas o equipamiento sensible sin riesgo de ningún tipo, no da problemas de fugas con terminales anti corrosión, tiene baja autodescarga y con una vida útil de alrededor de 10 años. Se acordó con el proveedor la entrega de baterías al cumplir éstas su vida útil, para el respectivo reciclaje.

Además, se instala un equipo de monitoreo, el cual sirve para recolectar los datos del funcionamiento del sistema fotovoltaico instalado, guarda toda la información del sistema durante un periodo de hasta 3 años.

# **Transporte**

El transporte es uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan las ciudades en su objetivo de transformarse en inteligentes. Costa Rica desde hace algunos años analiza el Proyecto de Ley de Incentivos y Promoción para el Transporte Eléctrico, con el Expediente N.º 19.744 en la Asamblea Legislativa, cuyo objetivo es estimular y fortalecer el uso del transporte eléctrico en Costa Rica, como medida efectiva para reducir el consumo de combustible fósil del país, la contaminación ambiental, los daños en salud pública y el gasto en movilidad. Sin embargo al momento de esta publicación no se ha aprobado la ley.

Los propietarios de Casa Guarumo analizan las opciones para la compra de un vehículo que llene sus necesidades de transporte en una forma económica y menos contaminante. Las opciones son vehículo eléctrico o híbrido plugin o enchufable. Las ventajas del eléctrico es que son totalmente silenciosos, son Cero Emisiones y de mantenimiento mínimo y si se prueba la ley se tendrán una serie de incentivos económicos y no económicos.

Los híbridos son mucho menos contaminantes que un vehículo de combustible fósil, pero no son cero emisiones, requieren mayor mantenimiento, la ventaja es que se puede usar como auto eléctrico, recargando en un enchufe las veces que sea necesario, y se puede usar como un coche híbrido, usando combustible fósil, cuando no haya acceso a electricidad para cargarlo. Una de sus desventajas es su autonomía en modo exclusivamente eléctrico es considerablemente menor que la de uno eléctrico. La relación puede ser 50 km del híbrido contra 200 km del eléctrico.

Por lo tanto, se decide por un auto totalmente eléctrico y se instala la estación de recarga en la cochera de la casa.

# 5. REDUCCIÓN EMISIONES GASES EFECTO INVERNADERO DE CASA GUARUMO

En Costa Rica, durante el año 2016, el 98,2% de la generación nacional de electricidad se realizó con fuentes de energía renovable (ICE, 2017). Esto indica con claridad que el sistema eléctrico del país, presenta ventajas sustanciales en cuanto a emisiones de GEI respecto a sistemas eléctricos que utilizan combustibles fósiles.

Según los datos del ICE, el Factor Emisiones Electricidad de Consumo para el país es  $55.7 \, {\rm gCO_2e/KWh}$ . Utilizando este dato y la generación del sistema fotovoltaico que es de  $4.000 \, {\rm kWh}$  anuales, se tiene que se dejan de emitir  $222,80 \, {\rm toneladas}$  de  ${\rm CO_2}$  anualmente en la vivienda. Si esto lo determinamos para un periodo de  $25 \, {\rm años}$  (vida útil del sistema fotovoltaico) tenemos una reducción de emisiones de  $5.570 \, {\rm toneladas}$  de  ${\rm CO_2}$ .

Además, al ser la generación de electricidad del país tan renovable, lo hace una ventaja competitiva para aquellos que deseen pasarse a utilizar vehículos eléctricos, ya que su fuente energética es limpia. En este caso se hace el cambio de un vehículo del año 2008 de diésel por un auto eléctrico. El auto que utiliza combustible fósil tiene emisiones anuales de 3.463 kgCO<sub>2</sub>, mientras que el eléctrico cero, debido a que se utilizara energía solar en la casa, o sea hay una disminución total de emisiones GEI por concepto de transporte.

Para totalizar el ahorro de emisiones GEI de Casa Guarumo en un periodo de 10 años se contabilizan en: 2.228 ton CO<sub>2</sub> por el concepto de electricidad y 34,63 ton CO<sub>2</sub> por el cambio a vehículo eléctrico, para un total de 2262,63 ton CO<sub>2</sub>. Además, el cambio de vehículo diésel a eléctrico trae ventajas al eliminar las emisiones de partículas y Óxidos de nitrógeno (NOx) que emiten los primeros, las cuales son muy dañinos para la salud de los humanos.

### 6. CONCLUSIONES

Al pensar en una casa sostenible es importante hacer un análisis del entorno donde se ubica el inmueble a construir. Se debe analizar los recursos naturales que afectan directamente la edificación como el sol, viento, vegetación, humedad y temperatura. El objetivo es hacer una delineación que tome en cuenta estas variables y se pueda obtener un diseño que brinde confort lumínico, térmico y acústico lo más natural posible.

Existen estrategias pasivas de diseño que permiten alcanzar el confort térmico al interior de las edificaciones sin necesidad de tecnologías costosas y de alto consumo eléctrico, por ejemplo: la orientación, el soleamiento, la masa térmica y la ventilación natural. Para aprovecharlas al máximo es importante que vayan incorporadas en el diseño desde el principio, y que se ajusten a las condiciones específicas del microclima donde está inserta la edificación.

El sector de la construcción tiene el mayor potencial para reducir su impacto en el ambiente, comparado con otros como lo son el transporte, la industria y la generación eléctrica. El uso de estrategias pasivas en el diseño permite a la población aprovechar este potencial a un bajo costo, logrando un alto impacto.

Se necesita apoyo de los gobiernos para aprovechar y poner en práctica aquellas estrategias que son más costosas, para regular desarrollos que no van de la mano con la sostenibilidad y para incentivar buenas prácticas constructivas por medio de normativa.

Costa Rica tiene planes ambiciosos e innovadores para concertar un desarrollo económico, social y ambiental sostenible. El país impulsa mecanismos para que personas, empresas y organizaciones puedan incorporarse a una estrategia de desarrollo de arquitectura sostenible, mediante trabajo conjunto, registro de compromisos, acciones y actividades que hagan que las clases bajas y medias tengan alcance a herramientas,

materiales y tecnología que les permita habitar una casa sostenible.

Debemos superar los mitos que dicen que la sostenibilidad es costosa y difícil de alcanzar, y debemos adoptar una actitud de vida más responsable, consciente de nuestra posición dentro del sistema y de nuestra capacidad de impactar de una u otra forma el mismo, con las acciones del día a día. Todos somos capaces de asumir un estilo de vida con menos desperdicio y mayor conciencia en el aprovechamiento de recursos, que disminuya nuestro impacto sobre el ambiente y no comprometa las necesidades del futuro.

En el país cada vez existen más opciones en el mercado de productos eco-amigables, a costos razonables y dentro de las posibilidades económicas de más personas. Se espera que con el incremento de la demanda y con la aplicación de nuevas normativas estos productos se vuelvan accesibles a la totalidad de la población. Por otro lado, queda pendiente una labor de difusión y educación para que los habitantes conozcan las posibilidades que tienen para hacer de sus viviendas lugares más sostenibles, a un costo accesible.

A pesar de que los costos en requerimientos de aire acondicionado, iluminación, materiales y mano de obra tuvieron una notable disminución, la construcción de Casa Guarumo tuvo un aumento de alrededor de un 3% con respecto al costo de una casa igual pero no sostenible. Estos costos se deben a los sistemas solares instalados y tanques adicionales para tratamiento de aguas, entre otros.

Sin embargo, se puede concluir que la construcción sostenible de Casa Guarumo evidencia que vivir en una casa sostenible e inteligente es una alternativa real, factible y de costo accesible para los costarricenses, y a su vez se demuestra que al reducir la huella de carbono, a nivel individual se puede aportar al logro de los objetivos mundiales de cambio climático.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Atlas del Desarrollo Humano Cantonal de Costa Rica, 2016. PNUD, Universidad de Costa Rica. Recuperado de: http://desarrollohumano.or.cr/mapa-can tonal/index.php/mapa-cantonal

Jorge Mario Montero Arguedas, Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Sistema Eléctrico Nacional, Instituto Costarricense de Electricidad, 2016

Calculadora de huella de carbono.

Recuperado de: http://calculator.carbonfootprint.com/calculator.aspx?lang=es&tab=2

Cámara Costarricense de la Construcción, Guía Construcción Sostenible, 2016.

Recuperado de: https://www.construccion.co.cr/descargas/Guia\_Construccion\_Sostenible.pdf

CEDOM. Conceptos de domótica. Recuperado de: http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica

Datos sobre Ciudad Colon, recuperados de:

http://www.ciudadcoloncr.com/place/municipalidad-demora/

https://www.govisitcostarica.co.cr/region/city.asp?cID=227

Datos sobre Vetiver, recuperados de:

http://www.vetiver.org/

http://www.vetivercostarica.com/

http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=6458

Fco. Javier Neila, La energía embebida en los materiales y su correcto uso en la arquitectura bioclimática (presentación PP). Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: http://clustermadeira.com/wp-content/uploads/2013/06/Javier-Neila.pdf

Instituto Nacional Estadística y Censos. Proyecciones distritales. Población total por grupos de edades, según provincia y cantón-2011-2025. 2012. Recuperado de: www.inec.go.cr/poblacion/estimaciones-y-proyecciones-de-poblacion

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica, RESET (Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico). CTN INTE 06 INTE 06-12-01:2012. Primera Edición 2012. Recuperado de: http://www.uia-architectes.org/sites/de fault/files/RESET\_V16.pdf

Laboratorio de Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Reporte de Ensayo CIA-SC12-03-I01-R01(v2): Análisis de Textura en Suelos. 2017

Laboratorio de Suelos y Foliares. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Reporte de Ensayo SC12-LSF-I01-R01 (v11): Análisis Químico de Suelos. 2017

Lilliana Abarca Guerrero, Ana Grettel Leandro Hernández. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Guía para el Manejo Eficiente de Materiales de Construcción. 2016.

Recuperado de: https://www.construccion.co.cr/descargas/GUIA\_MANEJO\_MATERIALES\_CONSTRUCCION.pdf

Mario Cruz Fernández. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Barreras Vivas Antierosivas para la Agricultura de Ladera en la Huasteca Potosina. San Luis de Potosí, México. 2005. Recuperado de: http://www.campopotosino.gob.mx/modu los/Docs-.pdf

Municipalidad de San José. Plan de Ordenamiento Territorial de la Gran Área Metropolitana 2013–2030. Publicado en La Gaceta № 82 - 30 de abril del 2014. Recuperado de: https://www.mivah.go.cr/Biblioteca\_Plan GAM.shtml

PNUD. Panorama General Informe sobre Desarrollo Humano. 2016.

Recuperado de: http://hdr.undp.org/sites/default/files/HDR2016\_SP\_Overview\_Web.pdf

US Department of Energy, datos de vehículos. Recuperado de: https://www.fueleconomy.gov/feg/esfinda car.shtml

# LA *BLOCKCHAIN* Y SUS POSIBLES APLICACIONES EN EL ÁMBITO DE LA ENERGÍA

Andrés Schuschny<sup>1</sup>

Recibido: 19/oct/2017 y Aceptado: 25/oct/2017 ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (60-78).



Director de Estudios, Proyectos e Información de la Organización Latinoamericana de Energía, Doctor en Economía y Licenciado en Ciencias Físicas de la Universidad de Buenos Aires. andres.schuschny@olade.org (Twitter: @schuschny)

#### RESUMEN

Se presenta una potencial herramienta que pudiera contribuir al desarrollo de los sistemas de generación distribuida, entre otras posibles aplicaciones en el ámbito de la energía: la Blockchain. Con la creación del Bitcoin, la revolucionaria criptomoneda de la que tanto hoy se habla, apareció una miríada de aplicaciones en los más diversos ámbitos de la actividad económica, basadas en la tecnología sobre la cual se asienta el bitcoin. Dada la complejidad conceptual que rodea a tan novedosa herramienta, este artículo tiene por objetivo presentar las principales características de esta tecnología, que se denomina como "blockchain" o cadena de bloques, y mostrar las posibilidades que tiene de ser empleada en el ámbito de la energía, particularmente en el sector eléctrico.

**Palabras Claves:** *Bitcoin, Blockchain,* Cadena de Bloques, Criptofinanzas, Generación Distribuida, Energía Transactiva, Sector Eléctrico.

#### **ABSTRACT**

A new tool for accounting transactions is presented: the Blockchain, which could contribute to the development of distributed generation systems among other possible applications in the field of energy. With the creation of Bitcoin, the revolutionary cryptocurrency, a myriad of applications appeared in the most diverse areas of economic activity. Technology on which bitcoin is based on in known as the Blockchain. Given the

conceptual complexity surrounding such a novel tool, this article aims to present the main characteristics of this technology showing the possibilities that have to be used in the field of energy, particularly in the electricity sector.

**Keywords:** Bitcoin, Blockchain, Cryptofinances, Distributed Generation, Transactive Energy, Electric Sector.

## 1. INTRODUCCIÓN

De más está decir que, a nivel global, el sector energético está adquiriendo un gran dinamismo fruto de los notables cambios tecnológicos que se han venido dando en las últimas décadas. Esto se ha visto motivado por el importante abaratamiento que han tenido las energías renovables, como la solar fotovoltaica y la eólica, y la creciente preocupación provocada por el cambio climático, suscitado por el incremento de la concentración de dióxido de carbono generado, principalmente, por el uso masivo de los combustibles fósiles. Luego de muchos años de debate, la movilización de la comunidad internacional en busca de soluciones coordinadas ha quedado expresada en el Acuerdo de París cuyo objetivo es mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales promoviendo un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos.

Esta verdadera transformación, que desde Alemania se ha bautizado como la "transición energética", busca mejorar la seguridad del suministro y promover la diversificación de la canasta energética a través de la penetración creciente de las energías renovables no convencionales y así permitir que los países sean menos vulnerables a los vaivenes de los precios internacionales, al incrementarse el grado de autarquía energética. Este cambio ya se observa en países como la República Oriental del Uruguay, que se ha convertido en el primer país de América Latina y el Caribe y el segundo en el mundo en tener la mayor participación en energías renovables no convencionales o la República de Chile, cuyas políticas orientadas a promover la energía solar están expandiendo de manera estrepitosa la penetración de esa fuente.

Ante todos estos cambios, emerge el concepto de la generación distribuida, que consiste en la instalación e interconexión de múltiples pequeñas fuentes de generación de energía eléctrica (con potencias que pueden ubicarse digamos, entre los 2 kW y los 10kW) y cuya distribución se realiza en lugares lo más próximos posibles a las cargas a través de micro-redes llevando el concepto de autarquía energética al nivel de lo local o con la implementación de sistemas de medición neta de electricidad o *net metering*.

Según afirman los defensores de la generación distribuida, estos sistemas reducen las pérdidas en la red ya que la electricidad se distribuye al margen de las redes de transmisión, por lo que se descongestiona el transporte de energía. Además, sienta las bases para que, incluso los hogares se conviertan en **prosumidores**, es decir, en nodos que, además de consumir energía eléctrica, la generan, auto-consumiéndola o entregándola al sistema, por ejemplo, a través de la instalación de paneles fotovoltaicos en los techos de las casas y su complementación con sistemas de almacenamiento como son las baterías hogareñas. Se podría metaforizar que los sistemas de generación distribuida son a los

sistemas de abastecimiento de electricidad, lo que Internet es a las comunicaciones.

El paradigma de la generación distribuida no sólo comporta todo un desafío para la regulación existente sino también, tecnológico ya que, su implementación requiere la presencia de sofisticados sistemas de adquisición, contabilidad, certificación e intercambio de datos, además de los inconvenientes relacionados con el tratamiento de la variabilidad de las fuentes.

Actualmente, cuando una planta de generación de energía renovable entrega energía al sistema, un medidor registra la energía producida. Esa información se envía a un proveedor de registro, donde se la introduce en un nuevo sistema y se crea un certificado. Un segundo grupo de intermediarios negocia entre compradores y vendedores de certificados, y otra parte los verifica después de la transacción. Esta intermediación entre múltiples actores aumenta los costos de transacción a la vez que crea las condiciones para que se registren errores contables. Así, la falta de transparencia desalienta la dinamización del mercado potencial.

A lo largo de este artículo se presenta una novedosa herramienta: la Blockchain, que pudiera contribuir al desarrollo y certificación de los sistemas de generación distribuida entre otras posibles aplicaciones en el ámbito de la energía. Con la creación del Bitcoin, la revolucionaria criptomoneda de la que tanto hoy se habla, apareció una miríada de aplicaciones en los más diversos ámbitos de la actividad económica, basadas en la tecnología sobre la cual se asienta el bitcoin. Dada la complejidad conceptual que rodea a tan novedosa herramienta, este artículo tiene por objetivo presentar las principales características de esta tecnología disruptiva que se denomina como "blockchain" o cadena de bloques y mostrar las posibilidades que tiene de ser empleada en el ámbito de la energía, particularmente en el sector eléctrico, esbozando el alcance de sus posibilidades.

#### 2. EL NACIMIENTO DEL BITCOIN

En el año 2008 se produce una crisis financiera global que se origina con el derrumbe del mercado de las hipotecas subprime en los EEUU y se propaga al resto del mundo. Para mitigar los impactos reales de la crisis los principales Bancos Centrales del mundo inician una política monetaria expansiva inyectando una enorme liquidez en el sistema y evitar así su propagación. El alto endeudamiento que produjo esta crisis resultó ser el caldo de cultivo de un debate que puso en cuestión la solidez de los sistemas de divisas fiduciarias respaldadas por los gobiernos. Es en este contexto que nace el *Bitcoin* (BTC).

Desde la aparición de Internet habían existido variados intentos para crear una divisa digital. Pero no había sido posible resolver el problema de desconfianza fruto del potencial doble gasto, por lo que todos los sistemas formulados hasta ese entonces planteaban la necesidad de considerar una tercera parte o autoridad centralizada que, como un Banco Central, brinde la confianza necesaria para validar un sistema de estas características.

En agosto del 2008 se registra el dominio www. bitcoin.org y en octubre, se publica el primer documento que explica el diseño del bitcoin. Dicho artículo intitulado: Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, fue publicado inicialmente en el Mailing List sobre criptografía del sitio: www.metzdowd.com y llevaba la autoría de un tal Satoshi Nakamoto (2008). Si bien no son pocas las comunidades que claman por el otorgamiento del Premio Nobel de Economía a Satoshi Nakamoto, su identidad real, al día de hoy, permanece desconocida. Es probable que se trate de un mero seudónimo que nuclea a un grupo de hackers desarrolladores responsables de la creación del protocolo bitcoin. A mediados del 2010, Satoshi Nakamoto hizo su última contribución pública al desarrollo del Bitcoin y nombró a Garvin Andersen como la cabeza visible de la fundación1 y el desarrollo del bitcoin.

<sup>1</sup> http://www.bitcoin.org

En enero del 2009, nace la red bitcoin con la publicación del primer código abierto de un cliente del protocolo bitcoin. Por ese entonces, Satoshi Nakamoto mina el primer bloque de bitcoins, conocido como el Bloque Génesis por el que recibe 50 bitcoins. Se realiza la primera transacción en bitcoins cuando Satoshi Nakamoto envía bitcoins a Hal Finney. En octubre de 2009, se realiza el primer cambio de dólares por bitcoins en el broker New Liberty Standard<sup>2</sup>. El 22 de mayo del 2010, el hoy tristemente famoso desarrollador informático Laszlo Hanyecz compró dos pizzas por 10,000 bitcoins<sup>3</sup>. El precio de esta primera transacción de intercambio por otra divisa fue de 1.309,03 BTC por un 1 USD. Se inicia así la revolución de las criptomonedas o criptofinanzas la cual también, como veremos, impactará en otras áreas. Durante el año 2017, en el contexto de un ecosistema de más de 917 criptomonedas, entre las que se encuentran también Ethereum (ETH), Ripple (XRP), Litecoin (LTC), etc<sup>4</sup>., el BTC llegó a cotizar a 7900 USD por BTC el 8 de noviembre del 2017, más que cualquier otra denominación que haya actuado como almacén de valor.

No se requieren muchos conocimientos para operar con *bitcoin*. Se puede abrir una cuenta en uno de los numerosos Exchange (o sea un sitio con el que se puede transar criptomonedas por divisas tradicionales) o instalar una de las tantas versiones de "billetera o monedero virtual" en algún dispositivo luego de registrase en el sitio Bitcoin.org (traducido a 26 idiomas). Cuando se realiza una transacción (o sea la transferencia de cierta cantidad de *bitcoins* de un usuario a otro) la información respectiva se difunde a través de la red de par-a-par (P2P) a una base de datos denominada como *blockchain* o cadena de bloques y que se explica en la siguiente sección. El sistema calcula los respectivos balances

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\_del\_bitcoin

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Un monto que al 8 de noviembre del 2017, equivaldría los 79.000.000 USD, aproximadamente.

<sup>4</sup> http://coincap.io/

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> https://bitcoin.org/es/elige-tu-monedero

contables que quedan debidamente registrados una vez que estos son validados por la plataforma. Como el sistema trabaja con un conjunto de llaves o códigos encriptados, la pérdida de esa información provocaría la pérdida de los *bitcoin* atesorados. Por eso, además de tener guardada la información en dispositivos pueden imprimirse en papel esos códigos, lo que se denomina como almacenamiento frio ("cold storage"). Una vez realizada una operación no es posible revertirla. Si bien cualquier usuario puede registrarse con un nombre de fantasía, el historial de todas las transacciones realizadas por él, y por todos, puede ser recuperado e identificado.

El protocolo *bitcoin* no es sólo una manera de enviar "dinero" de un agente a otro. Tiene muchas más funciones y abre un universo de posibilidades que la comunidad global está analizando. Seguramente los usos más interesantes de *bitcoin*, y de su tecnología subyacente: la *blockchain* o cadena de bloques todavía están por descubrirse. En el presente artículo se describe esta disruptiva tecnología y se presentan algunas aplicaciones que han surgido en el ámbito de la energía y se esboza el alcance de sus posibilidades.

## 3. LA BLOCKCHAIN

Al presentar el *Bitcoin*, Satoshi Nakamoto (2008) define un novedoso protocolo algorítmico y criptográfico de intercambio y almacenamiento de información que facilita la realización de transacciones entre agentes a través de una red descentralizada P2P y que da en llamar *Bitcoin*, dando origen así a las criptomonedas. A diferencia de las tradicionales monedas fiduciarias, las criptomonedas no son creadas ni controladas por institución alguna como podría ser un Banco Central o una red de transacciones centralizada como las que conforman las tarjetas de crédito.

El protocolo algorítmico sobre el cual se basa el *bitcoin*, establece un conjunto de reglas basadas en los principios de la computación distribuida,

que aseguran la integridad del intercambio de información entre dispositivos, sin la necesidad de recurrir ni tener que confiar en una tercera parte que valide y certifique las transacciones.

Todo esto se realiza a través de lo que Nakamoto (2008) denomina como *Blockchain* (traducida como cadena de bloques), que consiste en una tecnología de transacciones digitales que facilita la consolidación de la información, permite su almacenamiento en forma segura y posibilita la realización de contratos (transacciones) en redes tipo P2P. La *blockchain* o cadena de bloques es a la confianza, lo que Internet es a la información; es el medio a través del cual se protocolizará, si vale el término, la confianza en la Red.

En sí, la *blockchain* consiste en una base de datos distribuida, formada por bloques diseñados con el fin de evitar su modificación una vez que un dato ha sido publicado en uno de ellos. Para eso utiliza un sellado criptográfico y queda enlazado a un bloque anterior. Por esta razón, la *blockchain* es especialmente adecuada para almacenar de forma creciente datos ordenados en el tiempo y sin posibilidad de modificación ni revisión.

El paradigma de la generación distribuida no sólo comporta todo un desafío para la regulación existente sino también, tecnológico ya que, su implementación requiere la presencia de sofisticados sistemas de adquisición, contabilidad, certificación e intercambio de datos.

Los datos almacenados en una *blockchain* suelen ser transacciones, pero bien puede registrarse en ella todo tipo de información. Por ejemplo, una *blockchain* puede ser usada para notariar o certificar documentos y "sellarlos" frente a cualquier tipo de alteraciones ulteriores.

La *blockchain* cumple entonces la función de un sistema de contabilidad o registro público que es compartido en línea y que contiene cualquier

contenido de información (el cual puede ser accesible o no). El objetivo primordial de una blockchain es mantener un registro, libro de contabilidad o base de datos distribuida de cierto tipo de información a lo largo del tiempo y que esta resista modificaciones malintencionadas. Al apuntar todas las transacciones de manera irrevocable (después de las confirmaciones), se sabe en todo momento cuantos bitcoins tiene cada miembro de la red y se evita que estas se puedan usar de manera duplicada o sean empleadas por terceros. Así mismo, la blockchain ilustra como el bitcoin es una moneda fiduciaria pura, es decir, que no es nada más que una anotación contable. Un bloque incorpora las transacciones realizadas en, aproximadamente, 10 minutos y tiene un sello temporal indicando cuándo se han realizado las mismas. Una vez que un bloque ha sido añadido a la cadena, las transacciones que este contiene han sido confirmadas. Después de 6 confirmaciones (aproximadamente 1 hora), el protocolo bitcoin asume que la transacción ha sido confirmada suficientemente y ya no puede ser revertida.

En el caso del *bitcoin*, la *blockchain* es una base de datos estructurada en segmentos (los bloques) que facilita la conformación de un libro contable (*ledger*) donde se registran las tenencias u operaciones con un carácter abierto, pero encriptado. Así, se conforma una red de intercambios a través de la cual se operacionalizan y validan transacciones entre pares sin la intervención de intermediarios. La naturaleza distribuida de la base de datos de la *blockchain* implica que es más difícil atacarla, se tendría que acceder a cada una de las copias de la base de datos simultáneamente para tener éxito.

El encriptado de información (criptografía) se utiliza en varias instancias del proceso de realización, validación y registro de las transacciones por lo que le brinda la seguridad necesaria a la *blockchain* como para que esta se convierta en la infraestructura de todo el sistema de intercambios y, por tal motivo, emerge como un nuevo paradigma que le brinda a la Internet la faltante capa descentralizada de confianza que

faltaba desarrollar. Previamente a la creación de la *blockchain*, la confianza residía en la intervención de alguna tercera parte que actuaba como referente validador de los intercambios, sea una red bancaria, sea una red de pagos o tarjeta de crédito. Es por ello que el concepto detrás de la *blockchain* puede tornarse en una revolucionaria herramienta de alcances inusitados tal como se ha puesto de manifiesto en los numerosos emprendimientos que han surgido en torno al concepto.

La base de funcionamiento de la blockchain se asienta en la función matemática denominada como "función hash". La matemática de las funciones hash se conoce desde la década de los '50 y se popularizó en el ámbito del estudio de la criptografía moderna. Se trata de una función que "resume" una cadena de datos de cierta longitud (larga) en una cadena más corta de longitud fija (mucho más corta) permitiendo que la misma información de entrada proporcione siempre la misma información de salida. Los "hashes" son cadenas de caracteres que actúan como una huella digital y que sirven para verificar que un cierto contenido de información extenso no ha sido alterado sin necesidad de conocer dicho contenido (Swan, 2015).

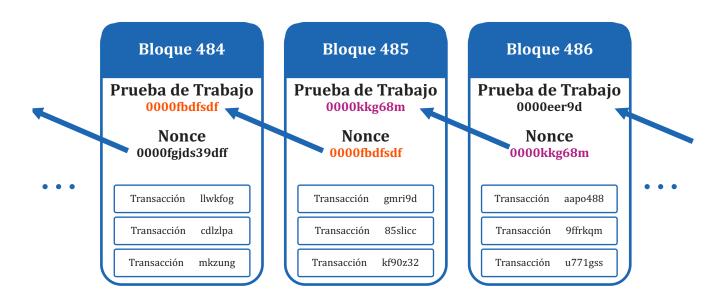
Cada bloque comienza con un hash propio, generado con el algoritmo de encriptación SHA256, y el hash del bloque anterior, lo que permite reconstruir la cadena de manera recursiva como si fueran encastres de ladrillos de lego sucesivos. A cada bloque se le añade un dato extra llamado "nonce" que contiene el hash del bloque anterior (Figura 1). Si se cambia cualquier dato en cualquier bloque queda invalidada la firma de ese bloque, pero también la de todos los siguientes, porque a partir de ahí los hashes y nonces dejan de coincidir. Si el cambio se hiciera con el bloque más reciente podría validarse o como se dice en la jerga: minarse de nuevo para "arreglarlo", pero cuanto más se remonta el cambio al pasado más bloques habría que recalcular, una tarea que pronto se vuelve, en la práctica, computacionalmente imposible.

Cada transacción dentro de un bloque se registra a partir de dos direcciones *bitcoin* (entre las cuales se realiza el intercambio) y las firmas. Las firmas son utilizadas en forma combinada mediante una firma pública y otra privada. La firma pública puede ser utilizada para ver el historial de transacciones de un usuario, por ejemplo, pero no puede ser usada para realizar una transacción a menos que se conozca y utilice la firma privada. La firma privada es la que se requiere para acceder a una cuenta y ejecutar las transacciones (Swan, 2015).

Una *blockchain* es como un espacio donde un agente puede guardar información en forma semi-pública en una suerte de contenedor (los bloques). Cualquier otro agente puede verificar que esa información fue ubicada allí pues el bloque incluye la firma del agente que la ubica allí, pero solamente este último agente puede visibilizar lo que hay dentro pues él posee la llave privada que lo habilita a hacerlo. Entonces, la *blockchain* se comporta como una base de datos en la que parte de la información allí contenida es pública y parte privada<sup>6</sup>.

La blockchain consiste en una base de datos distribuida, formada por bloques diseñados con el fin de evitar su modificación una vez que un dato ha sido publicado en uno de ellos.

Figura 1. Esquema de la Blockchain



Fuente: Elaboración propia

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> En rigor, existen también cadenas de bloque que puede ser privadas. En este caso la información no queda disponible a todo usuario.

Por otro lado, la *blockchain* es un sistema distribuido, público y notarizado que registra, como si fuera un libro contable, todas las transacciones que se realizan en ella y que pueden verificarse y certificarse por cualquier usuario, de manera tal de poder cotejar la validez de cada transacción con el fin de evitar la doble contabilidad, por ejemplo, y facilitar así el procesamiento de transacciones en forma enREDada, sin intermediaciones de terceras partes. El paradigma subyacente se basa en un concepto clave de la revolución criptográfica denominado como "consenso distribuido".

El protocolo bitcoin es de código abierto lo que permite la verificación de su comportamiento por la comunidad de interesados. De igual manera, el código está sometido a la evolución con contribuciones de los miembros de la red que lo pueden modificar. Se estima que más del 70% del código original de Nakamoto ha sido mejorado. La red es descentralizada ya que no existe un nodo central que coordine el comportamiento de la misma y tiene una topología plana, aunque la Fundación Bitcoin mantiene la supervisión del sistema bitcoin. Es por ello que han surgido otras numerosas criptomonedas que modificaron el algoritmo o hasta lo mejoraron y que hoy compiten entre sí. En http://coincap.io/ se puede consultar las cotizaciones en tiempo real de las centenas de criptodivisas que han emergido.

# 4. LA OFERTA MONETARIA Y EL MINADO DE BITCOINS

La red descentralizada de *bitcoins* está compuesta por todos aquellos miembros que han bajado e instalado el protocolo *bitcoin* bajo el uso de alguna de sus implementaciones denominadas como monederos virtuales en sus computadoras o dispositivos móviles y que les permite efectuar y recibir pagos (transacciones). Sin embargo, para que el sistema posea la capacidad de cómputo y almacenamiento necesario, existen otros usuarios más sofisticados que ofrecen dicha capacidad configurando un conjunto de nodos

más complejos de la red de *bitcoin* y cuya labor es premiada mediante el proceso de "minado" de *bitcoins*.

Como el saldo inicial en *bitcoins* de un monedero es cero el usuario que lo instaló debería recibir pagos en *bitcoins* de un tercero (como una contraprestación contractual de un bien o servicio o una transferencia), comprarlos en uno de los múltiples mercados existentes o Exchanges o, alternativamente: "minar" *bitcoins*.

Cada monedero electrónico genera y almacena claves públicas y privadas. Un usuario promedio de la red no tendría por qué preocuparse por conocer cuáles son o cómo se generan las claves, aunque debe mantener la clave privada en secreto para no perder sus tenencias. Como sucede con los números de una cuenta bancaria, cuando un miembro quiere recibir un pago, solo tiene que entregar una dirección de bitcoin que el programa le suministra. Cuando otro miembro quiere efectuar un pago emplea su dirección de bitcoin y una firma electrónica generada con su clave privada, similar a cuando se autoriza un pago desde una cuenta corriente dando una contraseña. Cuando un pago se ha realizado a través de la red, este es irreversible.

El protocolo *bitcoin* posee un algoritmo prefijado de emisión de la moneda a lo largo del tiempo. Eventualmente habrá 21 millones de *bitcoins* y no se emitirán más, por lo que se trata de una moneda deflacionaria. Al 8 de noviembre del 2017, se han emitido más de 16.6 millones de *bitcoins* cada uno de los cuales llegó a alcanzar un valor de 7900 USD, superando una capitalización de mercado de 130.000 millones de dólares. Por otro lado, la unidad de cuenta puede subdividirse en menores denominaciones, siendo la más pequeña el satoshi, equivalente a 10-8 *bitcoins*.

Al momento de su lanzamiento, cada 10 minutos, aproximadamente, se emitían 50 nuevos *bitcoins*, a los 4 años, esa cantidad se redujo a la mitad, a partir del 2016, la cantidad se redujo a 12.5 nuevos *bitcoins* cada 10 minutos y, sucesivamente

cada cuatro años, se irá cortando por la mitad la cantidad de nuevas unidades emitidas hasta que en algún momento se alcance el límite de los 21 millones. Este límite superior es uno de los atractivos para muchos de los partidarios de *bitcoin* pues no hay riesgo de inflación. Si el nivel de uso de la moneda crece, el límite en el número de *bitcoins* implicará una deflación constante.

Aunque las personas pueden mantener su identidad anónima, cada transacción es totalmente pública y se puede consultar en numerosos sitios<sup>7</sup>. Antes de incorporarse a la blockchain, las transacciones deben ser verificadas por la red con el fin de comprobar que los bitcoins son auténticos o que no se emplean de manera duplicada. En este proceso de consenso distribuido, cuando una transacción se efectúa, los detalles de la misma se emiten a todos los nodos de la red. Aquellos miembros interesados en verificar transacciones acumulan un conjunto de ellas mientras resuelven una "prueba de trabajo" o proof of work (PoW). La verificación de las transacciones es realizada por los "mineros" de bitcoins que son quienes aportan su capacidad de cómputo para viabilizar el sistema y reciben a cambio fracciones de los nuevos bitcoins emitidos, a modo de comisión v con un carácter estocástico que genera la prueba de trabajo.

El concepto de la prueba de trabajo surgió en el ámbito del movimiento *cyberpunk*. Una "prueba de trabajo" es una operación basada en "adivinar" un conjunto de caracteres aleatorios y que lleva mucho tiempo calcular pero que es muy fácil de comprobar cuando se ha efectuado correctamente.

Como ya se comentó, cada bloque de la *blockchain* lleva adjunta una cadena de caracteres, llamada *nonce*. Las computadoras "mineras" tienen que buscar la serie correcta de forma que el bloque completo satisfaga una cierta condición aleatoria. Los hashes son funciones unidireccionales, así que no hay forma de saber el *nonce* correcto o de

diseñar en forma *ad hoc* el *nonce* correcto. La única forma de encontrar un buen *nonce* es intentarlo aleatoriamente hasta que uno funcione.

El protocolo *bitcoin* está diseñado para que esta "prueba de trabajo" lleve unos diez minutos de media. Cada 2016 bloques, se mide el tiempo empleado y la complicación de la "prueba de trabajo" se incrementa o se reduce para intentar volver a unos diez minutos de media en los siguientes 2016 bloques generados. Dado el incremento en la velocidad de los ordenadores dedicados a la verificación, esta dificultad ha ido creciendo de manera notable. Una vez que la "prueba de trabajo" es completada, se envía a los demás nodos de la red. Cada uno de ellos efectúa sus comprobaciones independientes de que las operaciones han sido realizadas correctamente.

El primer nodo de la red de mineros que completa la "prueba de trabajo" y cuyo resultado es aceptado por un conjunto de otros nodos, añade el nuevo bloque de transacciones que ha generado mientras buscaba la "prueba de trabajo" a la blockchain, recibe los nuevos bitcoins emitidos por el sistema (la oferta monetaria) y una pequeña comisión de las transacciones. Estos pagos generan un incentivo para participar del sistema de verificación de las transacciones, es decir

La blockchain como sistema de registro inalienable de transacciones no sólo puede aplicarse al ámbito de las criptofinanzas y los sistemas de pago. Existen numerosas áreas en las que se requiere la participación de entidades que certifiquen o validen acuerdos entre partes.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> https://blockexplorer.com/

facilitar capacidad de cómputo y convertirse en minero de *bitcoins*. De esta manera, se distribuye la emisión monetaria en forma descentralizada y al azar entre los mineros. Cuando todos los *bitcoins* hayan sido emitidos, la comisión de pagos será el incentivo para seguir participando de la verificación de los pagos. Técnicamente, la emisión monetaria se realiza a través del nuevo bloque incorporado en el que hay una nueva dirección de *bitcoin* con las nuevas monedas y cuyo tenedor es el minero beneficiado.

Un aspecto interesante del *bitcoin* y que se puede extender a otros sistemas de pagos, es que las transacciones se incorporan a los bloques según una cola de prioridad basada en la comisión de cobro: transacciones que pagan más comisión se incorporan antes.

El carácter aleatorio de la verificación de las transacciones y de la conformación de la *blockchain* desalienta la doble contabilidad o el doble gasto ya que en los 10 minutos que, como mínimo, dura el proceso es posible cotejar este tipo de intentos.

Al basarse en el rastreo de números aleatorios por parte de numerosas computadoras, la "prueba de trabajo" resulta ser un proceso muy consumidor de recursos computacionales y, por lo tanto, de energía eléctrica. La energía usada para encontrar los *nonces* se pierde para siempre. Es por eso que han surgido otros sistemas de verificación de transacciones menos consumidores de energía como el "Proof of Stake" (PoS) o "Prueba de Participación", que se basa en la suposición de que quienes poseen más unidades de una moneda basada en el PoS están especialmente más interesados en el buen funcionamiento del sistema que otorga valor a dichas monedas y, por lo tanto, son los más indicados para cargar con la responsabilidad de proteger al sistema de posibles fraudes. Así, el protocolo PoS los premia con una menor dificultad para encontrar bloques que resulta ser inversamente proporcional al número de monedas que posean y permite que

el algoritmo para identificar el *nonce* sea mucho menos demandante de computación y por lo tanto de energía eléctrica.

La Plataforma *Ethereum*, que generaliza el concepto detrás del *bitcoin* al ámbito de los *Smart Contracts* o "Contratos Inteligentes" y que abre un universo de aplicaciones que pueden aprovecharse en el ámbito de la energía, se basa en este método de verificación.

# 5. NUMEROSAS APLICACIONES DE LA BLOCKCHAIN

Con el surgimiento de la Internet se derrumbaron distancias. Habitamos en lugares, embargo, la economía hoy reside en el no-lugar del ciberespacio. Todo está a unos clicks de distancia de nuestras pantallas. Esto produce necesariamente, una alteración de la cadena de generación de valor. En la economía del siglo XX, las empresas competían por participar en esta cadena o de expandir su control sobre ella, valiéndose de barreras de entrada dadas por costos de transacción e información. En la economía digital de hoy los procesos de desintermediación alcanzan niveles inusitados. La intermediación es reemplazada por la "infomediación" que opera en el ciberespacio y lleva los costos de transacción a la escala del "nanocentavo" o incluso, como sucede con la industria de contenidos, al límite de la gratuidad (Schuschny, 2007).

La incorporación de la capa de confianza que necesitaba Internet para que se puedan universalizar muchos procesos transaccionales y que, hasta la creación de la *blockchain*, dependía de instituciones que actuaban como terceras partes, hoy se ha posibilitado mediante esta tecnología basada en algoritmos y criptografía empleada en varios niveles. Se abre todo un universo de oportunidades y multiplica de manera inaudita la posibilidad de eliminar la intermediación de agentes certificadores sobre los que se debía confiar sin demasiadas certezas (Tapscott & Tapscott, 2016).

La blockchain como sistema de registro inalienable de transacciones no sólo puede aplicarse al ámbito de las criptofinanzas y los sistemas de pago. Existen numerosas áreas en las que se requiere la participación de entidades que certifiquen validen acuerdos entre partes. Resulta particularmente útil cuando consideramos las operaciones de notarización y certificación que, hasta hoy, son realizadas por los escribanos o notarios quienes actúan como agentes fedatarios. Registros como los casamientos, escrituración de propiedades, custodio de activos financieros, certificados de nacimiento, registro y transferencia de activos, de propiedad intelectual o física como automóviles, de patentes, testamentos, auditorías contables, registros de autenticación de firmas, de direcciones postales, otorgamiento de licencias, registro de licitaciones, títulos profesionales, historias clínicas, emisión de documentos, de títulos públicos, recibos, pagos de impuestos, transacciones multi-firmas, que requieren la aprobación de numerosos agentes, etc., o hasta el mismo voto electoral, bien podrían certificarse a través de sistemas basados en la blockchain.

Notable resulta el caso de Bitnation, un sistema de gobierno virtual en el que se puede gestionar el registro de identidad, sistemas de seguros, servicios consulares, etc. La plataforma de Bitnation incluve un servicio de notarización globalizado en el que cualquier individuo puede registrar y certificar documentos legales imprimiéndoles un certificado (time-stamping) que queda alojado en una blockchain. Estonia, un país ya famoso por sus políticas de apoyo e incorporación de nuevas tecnologías ya ha implementado el servicio de notarización de Bitnation. Desde el año 2015, Estonia en cooperación con Bitnation vienen implementando un sistema de notarización pública y ofrecen a cualquier ciudadano del mundo la posibilidad de convertirse en e-residentes permitiéndoles notarizar sus matrimonios, certificados de nacimiento, o contratos de negocios. Si una pareja se casa registrándose en Bitnation, no significa que lo haya hecho ante la jurisdicción de Estonia, lo ha hecho en la "jurisdicción de la blockchain"

reconocida por el país. Ucrania, también ha sido pionera en el uso de la plataforma *Ethereum*, basada en la *blockchain*, para implementar un sistema de votación para su uso en elecciones primarias, generales, referéndums, etc.

Otro caso que resulta interesante es el de la "propiedad inteligente" (smart property). Se trata de un derecho de propiedad expresado digitalmente como parte de un registro en una blockchain. Al igual que con los bitcoins, el propietario puede usar su clave privada para transferir el activo y a su vez, puede certificarle a otros agentes que la propiedad se encuentra bajo su tenencia con la clave pública. Cuando el propietario decide vender el activo, procede a entregar la clave privada del propietario al comprador. Algunos tipos de propiedades como activos financieros, patentes, marcas o derechos de autor pueden ser fácilmente propiedades inteligentes ya que pueden ser fácilmente codificados y procesados como documentos digitales. Los activos físicos deberían estar registrados oficialmente o poseer una etiqueta no falsificable o *chip* que lo identifique.

Desde que el *bitcoin* y la *blockchain* concitaron el interés de numerosos emprendedores tecnológicos y fondos de capital de riesgo, una miríada de emprendimientos y aplicaciones están dando lugar a un verdadero ecosistema de conocimiento que facilitará la madurez de estas tecnologías.

# 6. LOS CONTRATOS INTELIGENTES Y LAS ORGANIZACIONES DIGITALES AUTÓNOMAS

Al imposibilitarse la falsificación y permitirse el registro irrevocable de contenidos (a menos que el o los titulares decidan transferirlos) se crean las condiciones para la generación de novedosas aplicaciones en cuanto ámbito pueda imaginarse. Así, la *blockchain* suministra las condiciones óptimas para que se puedan viabilizar esquemas de gobernanza descentralizada. Resulta relevante comentar el caso de las denominadas DAO/DAC (*Distributed Autonomous Organization*)

/ Corporation) o en español: Organizaciones Digitales Autónomas (ODA). Se trata de sistemas de organización o coordinación entre agentes que operan con mínima intervención humana bajo el control de un conjunto incorruptible de reglas operacionales, que suelen denominarse como smart contracts o "contratos inteligentes".

Técnicamente, las DAO/DAC son algoritmos que quedan almacenados en una *blockchain* y, por lo tanto, son inalienables a menos que medie la voluntad de las partes asociadas y cuyas reglas de activación de las diversas instrucciones que el algoritmo posee, facilitan la realización de transacciones de intercambio entre los agentes intervinientes.

Los contratos inteligentes son algoritmos que facilitan, certifican, hacen cumplir y ejecutan acuerdos registrados entre dos ó más partes y yacen alojados en una blockchain que no es controlada por ninguna de las partes. Los contratos se ejecutan a partir de un conjunto de sentencias condicionales tipo: if - then (si entonces) acordadas por las partes e interactúan, ejecutando las sentencias a modo de cláusulas contractuales, con activos reales asociados a tales instrucciones. Un conjunto de reglas claras, sumado a su registro inalienable brindan una seguridad superior a cualquier contrato escrito y reduce sustancialmente los costos de transacción asociados a la ejecución del contrato.

Por tal motivo, se podría realizar cualquier tipo de transacciones que requieran o se basen en acuerdos registrados entre las partes intervinientes, sea vinculada a productos financieros, depósitos en garantía, sean operaciones de compra-venta, seguros, usos y regalías de patentes, o incluso, intercambios de energía en sistemas de generación distribuida.

Existen dos grandes proyectos de código abierto que trabajan con contratos inteligentes. Uno de ellos se llama *Codius*<sup>8</sup> que fue desarrollado

por *Ripple Labs*, la empresa que creó la criptomoneda llamada Ripple y es interoperable con una variedad de otras criptomonedas. Más conocida resulta, *Ethereum*<sup>9</sup> que consiste en una plataforma descentralizada y abierta que ejecuta contratos inteligentes que se alojan en su *blockchain* y permite crear mercados, almacenar registros de todo tipo, mover activos de acuerdo con instrucciones dadas e incluso operar con contratos de futuros. *Ethereum*, que posee su propia criptomoneda, el *Ether* (ETH) y una Fundación, ha concitado gran expectación y se han desarrollado muchas aplicaciones entorno a su plataforma.

Por su carácter descentralizado, cada nodo en la red P2P que participa de la *blockchain* de estos sistemas actúa como un fideicomiso o garantía que certifica la autenticidad de los contratos celebrados, a la vez que se posibilita la ejecución de cambios si los titulares así lo instruyen, comprobando automáticamente las reglas que impone la transacción acordada. En cierta forma, las criptomonedas, como el *bitcoin*, son casos particulares de contratos inteligentes, cuyo objeto es, en estos casos, la transacción de tales divisas.

Todo Vehículo Eléctrico bien podría tener incorporado un chip con un sistema basado en la blockchain, que a través de una transacción con una criptomoneda creada para tal fin, le permita al usuario, gestionar la carga del automóvil con la mínima intervención humana.

<sup>8</sup> https://codius.org/

<sup>9</sup> https://ethereum.org/

# 7. INICIATIVAS EN EL ÁMBITO DE LA ENERGÍA

Se podría afirmar que hoy confluyen varios factores que podrían hacer de la *blockchain* una tecnología adecuada para la gestión energética, particularmente, en lo que se refiere a la producción / distribución de la electricidad:

- (i) El abaratamiento de las energías renovables no convencionales viabiliza su aprovechamiento ubicuo y la generación de electricidad en forma descentralizada, particularmente, en el caso de tecnologías como la solar fotovoltaica.
- (ii) La variabilidad de las fuentes no convencionales fuerza al sistema a una mayor complementariedad entre fuentes y tecnologías e interconexiones, lo que motiva la descentralización progresiva de los procesos de distribución e intercambios de energía entre agentes.
- (iii) La creciente penetración de los vehículos eléctricos y los requerimientos de carga de sus baterías, lo que obliga a repensar no sólo el abastecimiento de electricidad, sino también la manera de articularlo y desplegarlo a lo largo del territorio.
- (iv) La así llamada Internet de las Cosas (*Internet of Things IoT*) que plantea la conectividad en red no sólo de computadoras, tabletas y *smartphones* sino de todo tipo de dispositivo de uso hogareño o no, que se pueda imaginar.

Como ha sucedido en otras numerosas áreas, en el ámbito de la energía han surgido varias iniciativas que aprovechan la tecnología de la *blockchain* de diversas maneras. Por su naturaleza, las redes de distribución de la energía eléctrica bien podrían gestionarse a través del empleo automatizado de contratos inteligentes. Ya se han implementado sistemas de generación y distribución descentralizada cuyos intercambios entre hogares prosumidores, operan mediando

una *blockchain*. Tal es el caso, por ejemplo, de la iniciativa *Transactive Microgrid*<sup>10</sup> que desarrolló en Brooklyn<sup>11</sup> una red de intercambios de energía entre hogares. Para operacionalizar los contratos inteligentes con los que se hace viable la iniciativa se utilizan medidores inteligentes.

Hoy tenemos claro que el automóvil eléctrico (EV) incrementará su penetración a nivel global, lo que podría dar lugar a una revolución en el transporte. En el año 2017 ya se han superado los 2 millones de EV vendidos. Durante el 2016, las matriculaciones de EV en China, por ejemplo, aumentaron un 130%. Si bien los costos de los EV no han bajado, los costos promedio de las baterías sí, y su eficiencia aumentado lo que ha dado lugar a una baja de los costos por kilómetro recorrido durante la vida útil. La Agencia Internacional de Energía estima que para el 2025 el stock de EV superará los 30 millones en el mundo (IEA, 2017). China, que posee planes para dejar de comercializar automóviles tradicionales (Bloomberg News, 2017), por ejemplo, planea emplazar 167.000 centros de carga de EV a lo largo del territorio (McIntyre, 2017). Este escenario de posible sustitución tecnológica, obligará a un replanteo en los países acerca del abastecimiento de electricidad para el sector transporte y la blockchain podría ser una solución para el rápido y eficiente despliegue de este requerimiento.

La empresa alemana de energía *RWE* se ha asociado al emprendimiento Slock.it para desarrollar *Blockcharge*: una plataforma que simplifique el proceso de carga de EV (Coindesk, 2016). Se trata de aprovechar las funcionalidades que brindan los contratos inteligentes a través del sistema basado en la *blockchain Ethereum* para facilitar la carga de EV. En definitiva, todo EV bien podría tener incorporado un *chip* con un sistema basado en la *blockchain*, que a través de una transacción con una criptomoneda creada a tal fin, le permita al usuario, gestionar la carga del automóvil con la mínima intervención humana.

<sup>10</sup> http://lo3energy.com/transactive-grid/

<sup>11</sup> http://www.brooklynmicrogrid.com/

Hoy en Alemania más de 1223 estaciones de carga de autos eléctricos se conectan entre sí y con los usuarios a través del sistema *Share & Charge*<sup>12</sup> basado también en una infraestructura de una *blockchain* y asociada al emprendimiento anterior.

Otro caso interesante es un proyecto que premia a los productores de energía solar. Se trata de la iniciativa *Solar Change*<sup>13</sup>. Por cada megawatt hora entregado a la red, el productor es premiado con un *SolarCoin*<sup>14</sup> que puede ser convertido en *bitcoins*.

Existe todo un ecosistema de emprendedores que está buscando promover el desarrollo de una plataforma y protocolo estandarizados para conectar generadores de energía, redes de operadores y consumidores. Tal es el caso de la *Energy Web Foundation*<sup>15</sup> o de *Grid Singularity*<sup>16</sup> que se plantearon el objetivo de acelerar el despliegue de las tecnologías basadas en la *blockchain* en el sector energético. En octubre del 2017, se anunció el lanzamiento de una *blockchain* desarrollada por ellos, basada en el cliente *Parity Ethereum* (EWF, 2017).

Según el portal dedicado al tema por la consultora *Indigo*<sup>17</sup>, actualmente hay más de 40 emprendimientos vinculados al uso de la *blockchain* en el ámbito de la energía. Las iniciativas pueden ser agrupadas en tópicos como (i) sistema de pagos basados en criptomonedas, (ii) transacciones P2P, (iii) sistemas de carga de EV, (iv) criptomonedas asociadas a generación renevable, (v) mercados mayoristas, (vi) generación distribuida, (vii) investigaciones de punta.

El Departamento de Energía (DOE) de los EEUU, en sus programas de investigación e innovación y trasferencia tecnológica se encuentra apoyando investigaciones en la materia (DOE, 2016) y muy recientemente están desarrollando sistemas de seguridad basados en la blockchain (Ruubel, 2017). El área de energía de la empresa Endesa perteneciente al grupo Enel lanzó recientemente la Endesa Energy Challenge<sup>18</sup>, el primer Lab de investigación de habla hispana centrado en la tecnología de la blockchain. La empresa Enel acordó recientemente con la empresa de software Ponton, el desarrollo de un mercado mayorista descentralizado que han denominado como Enerchain19 y cuyo objetivo es articular una plataforma descentralizada basada en la blockchain para reducir costos de transacción y mejorar la eficiencia operativa del sector. En Merz (2016), se analiza en profundidad el potencial de esta tecnología para la comercialización de la energía. Si se desea profundizar en el tema, vale la pena consultar este extenso trabajo donde también se describe esta última iniciativa.

Recientemente, la Unión de la Industria de Electricidad europea, Eurelectric, que representa a más de 3500 empresas del sector, durante el 2017 conformó una plataforma de discusión entre expertos<sup>20</sup> para investigar el potencial de la tecnología *blockchain* en toda la cadena de valor de la electricidad, incluyendo la generación, el comercio, el suministro y las redes.

La empresa australiana *Power Ledger*<sup>21</sup> en octubre del 2017 levantó el equivalente a 34 millones de dólares<sup>22</sup> a través de una ICO (*Initial Coin Offering*) que consiste en un medio no regulado de financiamiento colectivo (*crowdfunding*) que se realiza a través de una oferta de "certificados"

<sup>12</sup> https://shareandcharge.com/en/

<sup>13</sup> http://www.solarchange.co/

<sup>14</sup> http://solarcoin.org

<sup>15</sup> http://energyweb.org

<sup>16</sup> http://gridsingularity.com

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> https://www.indigoadvisorygroup.com/blockchain

<sup>&</sup>lt;sup>18</sup> http://www.endesaenergychallenges.com/es/block chain/

<sup>19</sup> https://enerchain.ponton.de/

<sup>&</sup>lt;sup>20</sup> http://www.eurelectric.org/news/2017/eurelectric-laun ches-expert-discussion-platform-on-blockchain/

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> https://powerledger.io/

<sup>&</sup>lt;sup>22</sup> https://www.coindesk.com/34-million-australian-block chain-startup-power-ledger-completes-ico/

accionarios digitales", emitidos por la empresa ofertante, en este caso el POWR. Así, los inversionistas compran certificados similares a las criptodivisas, pero son emitidos por la empresa que realiza la oferta y que se pueden apreciar si el negocio es exitoso. Durante el 2017, se realizaron por lo menos 400 ICOs. La plataforma *Ethereum* es el principal medio de realización de las ICO con más del 50% de cuota de mercado. Volviendo, a la empresa citada, *Power Ledger* está desarrollando una plataforma de intercambios de energía de punto a punto basada en la *blockchain* y que permite a los consumidores y empresas vender sus excedentes de energía solar a sus vecinos sin intermediarios.

El mayor productor de autopartes de China, el grupo Wanxiang se ha embarcado en una iniciativa vinculada al desarrollo de ciudades inteligentes y el futuro del automóvil, en la que invertirán, según dicen, 30 mil millones de dólares para los próximo 7 años conformando el *Wanxiang Blockchain Lab*<sup>23</sup>. Así mismo, desde el 2016 funciona en *Beijing Energy Blockchain Lab*<sup>24</sup>, dedicado a promover la economía verde a través de herramientas basadas en *fintech* y desarrollar aplicaciones basadas en la *blockchain* orientadas al sector energético.

La blockchain vinculada a medidores inteligentes, identificados y certificados virtualmente, facilitaría la implementación de sistemas de facturación, seguros y verificables. El operador de redes alemán *TenneT* junto a la empresa de almacenamiento en baterías *Sonnen*, la empresa holandesa de energías renovables *Vanderbron* e IBM, (que desarrolló su propia *blockchain* de bloque: la *Hyperledger*<sup>25</sup>) entablaron varios proyectos de colaboración para desarrollar sistemas de estabilización e intercambios a ser utilizado en redes descentralizadas de almacenamiento de electricidad en baterías hogareñas y autos eléctricos, basado en la *blockchain*<sup>26</sup>. Otra iniciativa a destacar es el emprendimiento inglés *Electron*<sup>27</sup>.

Luego de varias sesiones en numerosos eventos y webminars en el ámbito de la energía y de la blockchain, en febrero del 2017 tuvo lugar el encuentro Event Horizon<sup>28</sup> en Austria, el primer evento de carácter internacional dedicado exclusivamente a presentar y debatir cuestiones vinculadas al uso de la blockchain en ámbito de la energía. El evento contó con la participación del Secretario General del Consejo Mundial de Energía v de Vitalik Buterin un desarrollador de 23 años que se convirtió en una celebridad global, en el ámbito de estos temas, cuando en el 2013 desarrollo y fundó Ethereum, un año después de haber ganado la Medalla de Bronce en la Olimpíada Internacional de Informática y de abandonar la universidad. El evento se volverá a realizar el año próximo en Alemania. En noviembre del 2017, se realizó en la ciudad de Boston el evento Blochchain in Energy & Industry<sup>29</sup> con sesiones dedicadas a IoT y transacciones máquina-máquina, mercados mayoristas, certificados y energía transactiva, un concepto que va tomando creciente relevancia a la luz de estas tecnologías.

<sup>&</sup>lt;sup>23</sup> http://www.blockchainlabs.org

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> http://www.energy-blockchain.com/EN/

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> https://www.hyperledger.org/

<sup>&</sup>lt;sup>26</sup> https://www.tennet.eu/news/detail/tennet-unlocks-distributed-flexibility-via-blockchain/

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> http://www.electron.org.uk

<sup>&</sup>lt;sup>28</sup> https://eventhorizon2018.com

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> http://events.cleantech.com/blockchain-summit-2017/

### 8. APLICACIONES POSIBLES

Las blockchains llevan los modelos de intercambio de mercado a lugares a los que no había podido llegar antes. En concreto, al mantener una única copia del registro de todas las transacciones realizadas (aunque replicada en numerosas computadoras), resulta ser una tecnología muy adecuada para reducir los costos de coordinación y transacción, y favorecer con alto grado de certificación las operaciones inter-compañía.

La blockchain vinculada a medidores inteligentes, identificados V certificados virtualmente, facilitaría la implementación de sistemas de facturación, seguros y verificables que puedan operar en tiempo real con las señales de precios dinámicos a medida que la demanda de electricidad cambia durante el día. Así como sucede en los mercados de activos financieros, en un contexto de generación distribuida, existirían unidades simultáneamente múltiples que, producirían, consumirían y/o almacenarían energía, consumiendo o despachando energía dependiendo de las señales del mercado, que operaría en tiempo real. Sin embargo, estos mercados no fluctuarían sobre la base de expectativas, rumores y noticias sino a partir de la demanda de consumo energético efectivo.

Si consideramos la creciente penetración de autos eléctricos y la demanda de carga de los mismos, bien podría darse la situación en la que cualquier casa de cualquier centro urbano podría estar habilitada para suministrar energía a los automóviles eléctricos estacionados en forma colindante y el hogar recibir una compensación por haberla provisto.

En este contexto de transformación tecnocultural, bien podrían crearse en el futuro, modelos de negocios basados en la contratación de servicios sobre todo tipo de dispositivo hogareño (digamos una heladera, lavadora o aparato de aire acondicionado) y cuyo mecanismo de fijación de precios sea tan creativo que incluya los propios costos de la energía que el dispositivo induce. Un esquema de estas características, seria perfectamente viable y permitiría aprovechar la potencialmente enorme base de usuarios que el dispositivo contribuiría a generar, brindándoles a sus consumidores un poder de mercado sobre el valor de la electricidad, que cada uno, aisladamente, no podría poseer. Este tipo de modelo de generación de poder de mercado colaborativo para abaratar costos de energía y convertir la electricidad en una suerte de activo financiero, sería totalmente viable en el futuro.

Hay que tener en cuenta que hoy en día las empresas están pasando de ser vendedoras de productos a proveedoras de servicios de productos que ofrecen casi gratuitamente. Podemos citar al mercado de impresoras, a los teléfonos móviles, las cafeteras expresso, los automóviles (a través de la modalidad de leasing) o incluso las propiedades (bajo el esquema de tiempo compartido), entre tantos otros casos. Sumémosle a esto el universo venidero de la Internet de las Cosas (IoT) y las posibilidades de formulación de este tipo de modelos de negocio se multiplican. Eiglier v Langeard (1989) acuñaron el término "servucción", mezcla de producción y servicio, para referirse a esta tendencia de la economía, en la que poco a poco los bienes materiales se van convirtiendo en servicios mientras que, a su vez, muchos servicios tienden a materializarse (pensemos, por ejemplo, en el merchandising de la industria cinematográfica y del entretenimiento). Cuando los bienes materiales se convierten en plataformas para gestionar servicios, estos se convierten en el motor que impulsa la economía de maneras inusitadas. La servucción representa un cambio fundamental en la forma de entender los negocios de los tiempos que vivimos (Schuschny, 2007).

La implementación de tecnologías basadas en las *blockchains*, simplificarían sustancialmente el actual entramado operativo-regulatorio que existe entre los generadores, los sistemas de transmisión, los sistemas de almacenamiento y

los operadores que distribuyen la energía. Como ya comentábamos, la operatoria mayorista, bien podría realizarse a través de la ejecución de contratos inteligentes que fueran acordados previamente por las partes intervinientes y cuyas clausulas o instrucciones podrían activarse en forma contingente según el devenir de la oferta y la demanda. Tal vez un esquema de estas características facilitaría la generación de todo un mercado automatizado basado en reglas de interacción transparentes expresadas en esquemas de contratos inteligentes vinculados entre sí.

Además, el almacenamiento descentralizado de la información contribuiría a certificar los registros y a documentarlos, lo que facilitaría la articulación de los intercambios. Por otro lado, al poder documentarse todo lo imaginable, se posibilitaría instrumentalizar, hasta en forma dinámica, la certificación y verificación de los consumos energéticos, de los ahorros respectivos y, por esa vía, posibilitar algún esquema de transacciones de emisiones relacionado al consumo de fuentes fósiles o renovables o hasta fijar impuestos dinámicos cuando el consumo da lugar a determinada cantidad de emisiones. Adosado a una blockchain, todo dispositivo relacionado con la generación, transmisión, distribución y consumo de energía tendría una trazabilidad tal que permitiría pensar al sector desde un nuevo paradigma que promueve usos verdaderamente sostenibles.

Por otro lado, la erogación de los consumos energéticos podría efectivizarse a través de micropagos denominados en una criptomoneda utilizada por acuerdo de los participantes del sistema, generando una gama de posibilidades en lo que a modelos de negocios, coordinación entre actores y contratos inteligentes respecta, sin la necesidad de contar con intermediaciones financieras.

Todo esto que se viene comentando, suena a ciencia ficción, pero si observamos todo lo que ha

venido aconteciendo en el ámbito de la Sociedad del Conocimiento, no deberíamos sorprendernos.

Entre los aspectos importantes que debe considerarse al momento de desarrollar este tipo de proyectos se puede citar el marco legal-regulatorio existente y la capacidad de los sistemas hoy en funcionamiento de viabilizar los cambios planteados, de financiarlos y escalarlos. A diferencia de lo sucedido en el ámbito financiero, las transacciones no sólo involucran información e intercambios de valor sino también el abastecimiento de un servicio energético que se despliega a través de una infraestructura física lo que agrega una capa de complejidad que no puede soslayarse.

Un estudio reciente realizado por la Agencia Alemana de Energía (Burger et al, 2016) realizó una encuesta entre ejecutivos del sector energético alemán y recopiló opiniones y visiones sobre el uso de la blockchain en el sector. Se constató que el 70% de los encuestados va estaban contemplando o tenían planeado considerar el uso de la *blockchain* para la optimización de procesos, automatización, facturación, ventas, medición y transferencia de datos y gestión de redes. Los encuestados instaron a los tomadores de decisiones a acelerar el proceso de incorporar a la blockchain en sus agendas, promover el desarrollo de prototipos, analizar los marcos regulatorios a la luz de esta tecnología y aprovechar su vínculo con los mercados nacientes tales como la carga, y su facturación, de autos eléctricos.

En función de las respuestas obtenidas en la encuesta, el estudio citado estructuró las posibles aplicaciones en 2 grandes rubros: (i) Plataformas y (ii) Procesos. Dentro del primero se incluyeron los subgrupos: (a) Intercambios P2P, (b) Plataformas de Intercambio, y (c) Generación distribuida; mientras que en el rubro de Procesos se consideraron los temas: (a) Facturación, (b) Gestión de la red, (c) Movilidad, (d) Automatización, (e) Medición y transferencia de datos, (f) Seguridad, (g) Ventas y Marketing, (h) Comunicaciones.

Todavía no se puede afirmar, a ciencia cierta, si la blockchain será la tecnología más adecuada para gestionarlosprocesoseconómico-informacionales de la generación, transmisión y distribución de energía ni si favorecerá el desarrollo del sector energético en comparación con las soluciones convencionales. La implementación de sistemas descentralizados supone la configuración de una infraestructura técnica que incluye el uso de medidores inteligentes, la participación de desarrolladores altamente capacitados, la instauración de regulaciones y normativas afines basadas en criterios de equidad y justicia para todas las partes intervinientes.

Esta tecnología aún nueva permanece circunscripta a un ámbito muy "tecnologizado" caracterizado por su tecno-optimismo rampante. Las nuevas tecnologías, en este caso la blockchain, no sirven si las personas no las entienden o, como suele ocurrir, si les temen. Las mutaciones de las prácticas son siempre más lentas que las revoluciones de las técnicas. Es por eso que el uso de la blockchain en el ámbito de la energía plantea algunas oportunidades y numerosos desafíos. PwC (2016) desarrolla con cierto detalle los desafíos esbozados por la blockchain en el ámbito de la energía, particularmente, en los países desarrollados. Lo relevante de esta tecnología disruptiva radica en su capacidad de agregarle al actual entramado informacional que es la Internet, la capa de confianza que hasta su creación no había sido posible considerar.

### 9. A MODO DE CONCLUSIÓN

El reciente interés por las redes inteligentes, la creciente penetración de las energías renovables no convencionales variables y de las tecnologías de almacenamiento de energía en el contexto de la generación distribuida, así como la tendencia hacia la potencial sustitución tecnológica en favor del automóvil eléctrico y hasta la "profecía" en torno a la Internet de las cosas, que conectaría

todo con todo, pareciera ser la búsqueda de la comunidad global, por darle una nueva vuelta de tuerca al ciclo de la producción y de la renta globalizada, un nuevo impulso pautado por el capitalismo que, sin que deje de ser un negocio conveniente para los centros de la innovación global, esté en acuerdo a las necesidades planteadas por la mayor falla de mercado que el mundo a testimoniado: es decir, al fenómeno del cambio climático causado por las emisiones antropogénicas.

Es en este contexto de grandes transformaciones y potencial cambio de las reglas de juego, cuando nuevas tecnologías, paradigmas y conceptos van emergiendo como son el de la generación distribuida, las redes inteligentes (smart grids) y micro-redes, el empleo de sistemas de medición neta de electricidad, el concepto de la energía transactiva, etc., en que aparece (casi de la nada) la blockchain. Si esta tecnología madurará como para convertirse en la plataforma informacional generalizada de la infraestructura ciber-física de los sistemas eléctricos del futuro, contribuyendo a apalancar la pretendida transición energética, es aún prematuro asegurarlo. Lo que sí es cierto es que la *blockchain* presenta posibles beneficios y ventajas respecto a otro tipo de sistemas de procesamiento de la información sobre los flujos energéticos en las redes, algo necesario si se busca la descentralización en los procesos de producción y consumo de la energía. La blockchain incorpora un importante elemento que yace en la viabilización de todo contrato entre partes: la posibilidad de operacionalizar la confianza por lo que permite articular un sistema contable único pero, a la vez, compartido e interoperable con todas las partes intervinientes de los procesos de generación y despacho de la energía.

Es por ello, que el presente artículo tuvo por objetivo presentar las características más relevantes de esta novedosa tecnología que, de seguro, seguirá dando de qué hablar en el futuro.

### REFERENCIAS

Burger, C., Kuhlmann, A., Richard, P. y Weinmann, J. (2016), Blockchain in the energy transition. A survey among decision-makers in the German energy industry. Publicado por la Agencia Alemana de Energía (DENA) y la Escuela Europea de Negocios y Tecnología (ESMT). https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Meldungen/dena\_ESMT\_Studie\_blockchain\_englisch.pdf

Bloomberg News (2017), China Fossil Fuel Deadline Shifts Focus to Electric Car Race, 10 de septiembre de 2017 https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-09-10/china-s-fossil-fuel-deadline-shifts-focus-to-electric-carrace-j7fktx9z

Coindesk (2016), Why a German Power Company is Using Ethereum to Test Blockchain Car Charging, 7 de mayo del 2016 https://www.coindesk.com/german-utility-company-turns-to-blockchain-amid-shifting-energy-landscape/

Department of Energy (2016), Small Business Innovation Research (SBIR) and Small Business Technology Transfer (STTR) Programs https://science.energy.gov/~/media/sbir/pdf/TechnicalTopics/FY2017\_Phase\_1\_Release\_2\_Topics\_Combined.pdf

Eiglier, Pierre y Langeard, Eric (1989). Servucción: El marketing de servicios, McGraw-Hill, Madrid, España.

EWF (2017), Energy Web Foundation launches Blockchain and Application: Layer Test Network http://energyweb.org/wp-content/uploads/2017/10/EWF\_Test\_Network\_Launch\_PR\_Oct\_3\_2017.pdf

IEA (2017), Global EV Outlook 2017, Two million and counting, https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf

Kim, Minjin; Song, Seokhwa; Jun, Moon-Seog (2016), A Study of Block Chain-Based Peer-to-Peer Energy Loan Service in Smart Grid Environments, Advanced Science Letters, Volume 22, Number 9 https://doi.org/10.1166/asl.2016.7811

McIntyre, Douglas A. (2017), China to Build 167,000 EV Charging Stations, 7 de septiembre del 2017 http://247wallst.com/transportation/2017/09/07/chinato-build-167000-ev-charging-stations/

Mengelkamp, E.; Notheisen, B.; Beer, C.; Dauer, D.; Weinhardt, C. (2017), A blockchain-based smart grid: towards sustainable local energy markets, Comput Sci Res Dev (2017). https://doi.org/10.1007/s00450-017-0360-9

Merz, Michael (2016), Potential of the Blockchain Technology in Energy Trading en Daniel Burgwinkel et al.: "Blockchain technology Introduction for business and IT managers", Gruyter http://www.ponton.de/downloads/mm/Potential-of-the-Blockchain-Technology-in-Energy-Trading\_Merz\_2016.en.pdf

Nakamoto, Satoshi (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

PwC (2016), Blockchain – an opportunity for energy producers and consumers? https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/pwc-blockchain-opportunity-for-energy-producers-and-consumers.pdf

Ruubel, Martin (2017), U.S. Department of Energy Contracts Guardtime, Siemens and Industry Partners for Blockchain Cybersecurity Solution, 21 de septiembre del 2017 https://guardtime.com/blog/us-department-of-energy-contracts-guardtime-pnnl-siemens-and-industry-partners-to-develop-blockchain-cybersecurity-technology-for-distributed-energy-resources

Schuschny, Andrés (2007). La Red y el futuro de las organizaciones: ¿Más conectados, más integrados?, Editorial Kier, Buenos Aires, Argentina.

Swan, M. (2015), Blockchain: Blueprint for a New Economy, O'Reilly Media.

Tapscott, D. & Tapscott, A. (2016), Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, and the World, Penguin Publishing Group.



# IMPACTO DE LA INTRODUCCIÓN DE COCINAS DE INDUCCIÓN EN LA CALIDAD DE LA ELECTRICIDAD EN LOS HOGARES DE ECUADOR

Daniel Arroyo<sup>1</sup>, Darío Rodriguez<sup>2</sup>, Javier Martínez-Gómez<sup>3</sup>, Gonzalo Guerrón<sup>4</sup>

Recibido: 27/ sep /2017 y Aceptado: 26/ oct /2017 ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (80-95).



- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y
   Energías Renovables INER, Quito, Ecuador;
   Ingeniero en Mecatrónica; analista técnico de INER daniel.arroyo@iner.gob.ec
- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables – INER, Quito, Ecuador; Ingeniero en Mecatrónica, analista técnico de INER. dario.rodriguez@iner.gob.ec

Las fotografías utilizadas en este artículo pertenecen a La Agencia de Noticias ANDES. <sup>3</sup> Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables – INER, Quito, Ecuador; Universidad Internacional SEK Ecuador; Quito EC170134, Quito, Ecuador; Ph. D en ciencia de materiales; Ph. D. investigador en INER y Profesor en la UISEK.

javier.martinez@iner.gob.ec

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables – INER, Quito, Ecuador, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador; MSc. en energías renovables; Director de servicios especializados y transferencia tecnológica en INER y Profesor en la UTE.

gonzalo.guerron@iner.gob.ec

### **RESUMEN**

La irrupción de aparatos eléctricos del hogar ha impulsado la incorporación de cargas no lineales, fuentes de perturbación de los sistemas eléctricos, que inyectan armónicas de corriente, distorsionando su forma de onda. Al interactuar con la impedancia del sistema, estas cargas no lineales distorsionan la tensión y provocan diferentes problemas en los equipos asociados al sistema la red eléctrica. Estos problemas afectan al calentamiento excesivo de transformadores y cables conductores, mal funcionamiento de las plantas eléctricas, resonancias, interferencia electromagnética con equipos de comunicación, etc.

Este estudio resulta la importancia en Ecuador, donde se está desarrollando el "Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción—(PEC)". En el PEC se contempla la introducción de dos a tres millones de cocinas de inducción, cuya fuente energética está basada en electricidad, que suplirán a las cocinas basadas en gas licuado del petróleo.

Se ha realizado un análisis de los armónicos de tensión y corriente en cuatro modelos de cocinas de inducción que actualmente ya se comercializan en Ecuador dentro del PEC. Con los resultados obtenidos se ha observado que las cocinas no producen un incremento considerable en los valores de distorsión armónica en el sector residencial. Adicionalmente, se estima que no habrá repercusión en el THD de las redes de distribución. Sin embargo, sí incrementará el THD de corriente cuando se preparen los alimentos para el desayuno, almuerzo y cena. Este crecimiento será del 170%, pero no sobrepasa los límites de las normativas.

**Palabras Claves:** Plan de Cocción Eficiente, Distorsión Armónica Total (THD), Armónicos, Cocinas de Inducción, Eficiencia Energética

#### **ABSTRACT**

The irruption of electrical appliances from the home has driven the incorporation of nonlinear loads, sources of disturbance of the electrical systems, which inject current harmonics, distorting its waveform. When interacting with the system impedance, these non-linear loads distort the voltage and cause different problems in the equipment associated with the grid system. These problems affect the excessive heating of transformers and conductive cables, malfunction of electrical plants, resonances, electromagnetic interference with communication equipment, etc.

This study is of vital importance in Ecuador, where the "Energy Efficiency Program for Induction Cooking and Heating of Water with Electricity in LPG Replacement in the Residential Sector - (PEC)" is being developed. The PEC contemplates the introduction of two to three million induction cookers, whose energy source is based on electricity, which will supply kitchens based on liquefied petroleum gas.

An analysis of voltage and current harmonics has been made in four models of induction cookers that are already commercialized in Ecuador within the PEC. With the results obtained it has been observed that the kitchens do not produce a considerable increase in the values of harmonic distortion in the residential sector. Additionally, it is estimated that there will be no repercussion in the THD of the distribution networks. However, it will increase the current THD when food is prepared in for breakfast, lunch and dinner. This growth will be 170%, but does not exceed the limits of the regulations.

**Keywords**: Efficient Cooking Plan, Total Harmonic Distortion (THD), Harmonics, Induction Cookers, Energy Efficiency

### 1. INTRODUCCIÓN

El aumento de uso de aparatos de cargas no lineales en usuarios residenciales, ha provocado un aumento de la regulación al problema de la distorsión de la onda de tensión y corriente en los sistemas de distribución (Suarez et al. 2005). La calidad de energía y servicio eléctrico, debe cumplir ciertos estándares que aseguren la conformidad del cliente. En este sentido, los aspectos más importantes que deben cumplir estos estándares tienen que ver con: i) frecuencia, ii) nivel de tensión, iii) fluctuaciones de tensión (flicker), iv) armónicos y componentes de frecuencia superior, v) deseguilibrio de tensión y corriente, vi) factor de potencia, vii) huecos y sobretensiones, y viii) potencia activa y reactiva (Kit, Tse, & Lau, 2012).

Los niveles de calidad se encuentran normados por organizaciones internacionales los cuales son acogidas y reformuladas por cada país o región (Kit, Tse, & Lau, 2012). Existen dos organizaciones destacadas de estándares de calidad de energía que son: el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, IEEE, y la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC. En el Ecuador, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ARCONEL, es la encargada, de emitir regulaciones de calidad de energía para el sector eléctrico (Plan Maestro de Electrificación, 2012).

Relacionado con la calidad de la energía, los equipos eléctricos residenciales generan cargas no lineales que originan corrientes armónicas que se propagan en las redes de transmisión y distribución eléctrica, afectando los índices de calidad del suministro. Esta distorsión puede causar efectos indeseables en otros equipos ubicados en la misma vivienda, como en los dispositivos de protección, bancos de condensadores, motores, computadoras, etc., además de los problemas de calentamiento que originan en las líneas y transformadores de distribución (IEEE Task Force, 2013).

En el caso de Ecuador, los estudios de la calidad de la energía tienen repercusión dentro del Programa de Eficiencia Energética para Cocción por Inducción y Calentamiento de Agua con Electricidad en Sustitución del GLP en el Sector Residencial" (PEC), que pretende el cambio de tres millones de cocinas basadas en gas licuado del petróleo (GLP) por cocinas de inducción, cuya fuente energética está basada en electricidad (Villacís, et al. 2015)

En el caso particular del sistema energético de Ecuador se han realizado estudios para cuantificar los beneficios de la implantación de las cocinas de inducción (Martínez-Gómez, 2016). Se ha observado el 92% del GLP se consume en el sector residencial y el 80% de este es importado, generando salida de divisas al exterior además del costo de subsidio que asume el gobierno (Martínez-Gómez, 2016). Esta situación genera dependencia de un energético fósil importado que afecta la balanza comercial del país e impide utilizar esos recursos para el desarrollo nacional. En este sentido, Ecuador es el país en América latina con el mayor nivel de subsidios a los combustibles. Según la proforma presupuestaria del 2014, se destinaron \$ 3931 millones para combustibles fósiles, de los cuales \$ 680 millones son destinados para el gas licuado de petróleo (GLP) (Villacís, et al. 2015). De hecho, un cilindor15 kg de GLP cuesta USD \$ 1,60, mientras que países vecinos este precio se encuentra ente USD\$ 17 y 23 (Martínez-Gómez, 2016). Si se elimina el subsidio del estado al uso del gas licuado, si se adecua el déficit tarifario y se otorga el subsidio total a los primeros 100 kWh de los hogares insertos en el programa, para datos de consumo del año 2012, el estado ahorraría 260.7 millones de US\$ al año. Si además se incluye el cambio de la matriz eléctrica en donde el 93.53 % de la generación se prevé que sea realizado por hidroeléctricas, el Estado se podría ahorrar el valor de hasta US\$ 906.5 millones al año (Villacís, et al. 2015).

Para llevar a cabo está política energética el gobierno de Ecuador va invertir MUS\$ 11619 para cambiar la matriz energética, de los cuales unos MUS\$ 420 irán al programa de cocinas e inducción (Plan Maestro de Electrificación, 2012). Debido a la relativa alta demanda en potencia eléctrica de las cocinas, la tensión de operación de éstas es de 220V. Por tal motivo las empresas distribuidoras implementan el reforzamiento de las redes eléctricas de distribución y el servicio de 220V a los hogares. Estas adecuaciones son importantes ya que servirán posteriormente para otros equipos eléctricos. Además, hay que tener en cuenta que tras una evaluación previa se estimó que la potencia nominal tenía que ser de 4000 W (Riofrio et al. 2014).

La cocción de alimentos realizada por inducción presenta numerosas ventajas con respecto los cocinados por GLP como una i) mayor eficiencia energética, el campo magnético inducido en el menaje y la ausencia de focos caloríficos de elevada temperatura reduce las pérdidas de calor con el ambiente; ii) La rapidez en el calentamiento, debido a que el material ferromagnético de la base del menaje tiene la capacidad de atraer y hacer pasar a través de ellos campos magnéticos, tan pronto como circula electricidad por la bobina, lo que produce que el menaje se caliente directamente y no la superficie; iii) mayor seguridad, no existe riesgo de sufrir quemaduras de la cocina, ni explosiones, debido a que no se produce llama; iv) mayor facilidad de limpieza, por poseer una superficie lisa elaborada en vitrocerámica; v) fáciles de operar con mandos digitales. Como principales desventajas presentan: i) tecnología más sofisticada que las cocinas de resistencia eléctrica y de gas; ii) cuidado al utilizarla, para no rayar la vitrocerámica; iii) precio, las cocinas de varias zonas de inducción presentan un precio elevado, no siendo así en las cocinas de un solo inductor (Villacis et al. 2015).

El objetivo de esta investigación es el análisis de la calidad de energía en una vivienda prototipo de la ciudad de Quito – Ecuador, para ello se ha querido cuantificar el impacto de las cocinas de inducción en el sector residencial. Se han realizado análisis

en concordancia a lo recomendado por la norma EN 50160 y teniendo en cuenta la norma IEC 61000 – 4 – 30. El estudio se basó en un análisis de los armónicos de tensión y corriente en cuatro modelos de cocinas de inducción que actualmente ya se comercializan en Ecuador dentro del PNCE.

El resto del artículo se organiza de la manera siguiente: La sección 2 donde se explica la metodología seguida para realizar las medidas. En la sección 3 se exponen los resultados obtenidos en la investigación. La discusión de los resultados obtenidos se realiza en la sección 4. Por último, las conclusiones más importantes detalladas se presentan en la sección 5.

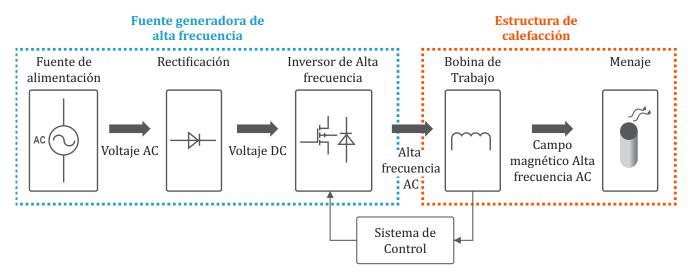
### 2. METODOLOGÍA

En esta sección se va explicar un esquema de las cocinas de inducción del ensayo, la metodología seguida para la elección de la vivienda de estudio, las características de las cocinas de inducción dentro del PNCE que se han elegido para el estudio, la metodología seguida para realizar las medidas, una descripción de los equipos de medida que se han utilizado y una breve descripción de las normas que se han utilizado en el estudio.

### 2.1 Esquema de una cocina de inducción

Una cocina de inducción eléctrica está compuesta de 3 subsistemas: fuente generadora de alta frecuencia, sistema de cocción y sistema de control, como se observa en la figura 1. El funcionamiento del electrodoméstico inicia con la fuente que alimenta toda la electrónica de potencia, incluidos circuitos de rectificación e inversión, esto para generar tensión y corrientes de alta frecuencia que circulan por una bobina de trabajo. La corriente eléctrica que circula por esta bobina genera un campo electromagnético de tal intensidad que, al atravesar el material ferromagnético de la base del menaje, genera en él un exceso de energía tal que se transforma en calor (Riofrio, 2015) El sistema de control es el encargado de tomar las acciones de control respectivas al estado de los sensores y la interfaz con el usuario.

Figura 1. Esquema de la cocina eléctrica de inducción compuesta por una etapa generadora de alta frecuencia, estructura de calentamiento y sistema de control



Fuente: Jonathan Riofrio (2015)

### 2.2 Vivienda de estudio

Para evaluar el impacto de las cocinas de inducción, en la red eléctrica de Ecuador se ha escogido una vivienda prototipo en la ciudad de Quito. Ésta debe acoger a una familia media de 4 personas y se ha escogido teniendo en cuenta los equipos eléctricos que tiene un hogar medio. La residencia cuenta con las cargas eléctricas que se

muestran en la Tabla 1, especificando su cantidad, potencia nominal y consumo estimado al mes. Además, en Ecuador se utilizan en su mayoría luminarias fluorescentes compactas debido a que el gobierno impulsa el consumo de estos focos (Villacis et al. 2015).

Tabla 1. Cargas eléctricas de la vivienda prototipo, según su cantidad, potencia nominal y consumo estimado al mes.

No	EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA NOMINAL (W)	CONSUMO ESTIMADO (kWh/mes)	
1	Televisión plana	3	86	7	
2	Equipo de sonido	1	150	5	
3	Computadoras	3	65	9	
4	Focos fluorescentes compactos	10	26	27	
5	Focos incandescentes	1	100	8	
6	Lavadora de ropa	1	400	4	
7	Ducha eléctrica	1	3300	47	
8	Micro ondas	1	1200	6	
9	Refrigeradora	1	575	75	
10	Otros	5	1500	10	
			TOTAL	198	

Fuente: Elaboración de autores

### 2.3 Cocinas de estudio

Para realizar esta investigación se han escogido cuatro modelos de cocinas, que se encuentran dentro del PEC. Las características de las cocinas de inducción evaluadas, según el número de hornillas, horno eléctrico, tensión nominal y potencia nominal máxima aparecen en la Tabla 2. La cocina con horno incluye en su potencia nominal la potencia de un horno eléctrico de resistencia. Estas cocinas se comercializan actualmente en el

Ecuador en los distintos canales de distribución. Todas estas cocinas cumplen las normativas NTE-INEN-2567 Eficiencia energética de cocinas de inducción de uso doméstico, NTE-INEN-2555 seguridad en cocinas de inducción, impuestas por el Ecuador para el PNCE. La cuales especifican una eficiencia mínima de las cocinas del 82 % y la limitación de potencia a 4000W cuando el tiempo de operación sobrepasa los 15 segundos.

Tabla 2: Características de las cocinas de inducción evaluadas, según el número de hornillas, horno eléctrico, tensión nominal y potencia nominal máxima

No	NÚMERO DE HORNILLAS	HORNO ELÉCTRICO	TENSIÓN NOMINAL (V)	POTENCIA NOMINAL MÁXIMA (W)
1	4	Si	220	7200
2	4	No	220	3500
3	4	No	220	4000
4	4	No	220	4000

Fuente: Elaboración de autores

#### 2.4 Mediciones

Las mediciones de calidad de energía eléctrica en la vivienda se realizan en la caja de interruptores magneto-térmicos. Específicamente, no existe una normativa local que regule la calidad de energía y los armónicos dentro de cada vivienda. Sin embargo, hay normas que regulan la calidad de energía que la empresa distribuidora debe ofrecer a sus clientes.

Para realizar las medidas se realizó la conexión en este punto para cuantificar el impacto de la cocina de inducción en la calidad de energía del hogar. Los procesos para las mediciones se detallan a continuación:

1. Se mide la calidad de energía eléctrica de la vivienda en el punto de conexión sin incorporar ninguna cocina de inducción. El periodo de

análisis es de 7 días, con mediciones cada 10 minutos, en concordancia a lo recomendado por la norma EN 50160.

2. Se mide la calidad de energía eléctrica de la vivienda incorporando una cocina de inducción a la vez. En cada cocina se realizan dos evaluaciones, una con la cocina en funcionamiento, es decir en el proceso de cocción, y la segunda en el modo "stand by", es decir que la cocina se encuentra conectada en el tomacorriente pero no operando. En el primer ensayo se cuantifica la calidad de energía por 90 minutos, 10 minutos en cada uno de los 9 niveles de potencia que tiene cada cocina. La frecuencia de muestreo es de 1 segundo. En el segundo ensayo se mide la calidad de energía por un periodo de 22 horas, con una resolución de 1 segundo.

En las mediciones se incluye parámetros de: i) tensión y corriente eficaz, ii) amplitud y ángulo de fase de los 50 armónicos de tensión y corriente, iii) distorsión armónica total de tensión y corriente. Estos índices de evaluación son ampliamente conocidos y su definición puede encontrarse en (Suarez et al. 2005)

### 2.5 Equipo de medición

Las medidas de calidad de la energía se realizaron mediante un analizador de red de la marca Fluke, modelo 435 serie II. Las sondas amperimétricas utilizas son Fluke i200 AC, con rango de corriente seleccionable 0-20A o 0-200ª para tener una mayor precisión en la medida. El procedimiento de medición del equipo se realizó teniendo en cuenta la norma IEC 61000 – 4 – 30, dicha norma se explicará en el siguiente punto.

### 2.6 Norma de calidad de energía

Para el desarrollo de esta investigación se han considerado dos normativas internacionales (IEC 61000 y EN 50160) y una nacional (CONELEC 004/01) de calidad de energía, las mismas que imponen límites de distorsión armónica tanto de tensión como de corriente para sistemas eléctricos de baja tensión.

La norma IEC 61000 – 4 – 30 define los procedimientos de medida de cada uno de los parámetros eléctricos en base a los cuales se determina la calidad del suministro eléctrico para así obtener resultados fiables, repetibles y comparables. Establece valores límites para la emisión de corrientes armónicas de equipos eléctricos que son alimentados por sistemas de alta tensión (AT), media tensión (MT) y baja tensión (BT). Los sistemas de bajo tensión son los menores a 1 kV y sus límites son los considerados en esta investigación. Más información sobre dicha norma puede encontrarse en (Norma, U. N. E. E. N., 1996)

Además, para el análisis de calidad de la energía durante el periodo de análisis de siete días, se utilizó la norma. La norma europea EN 50160 se especializa en requerimientos de calidad para el suministro de energía eléctrica (CONELEC, 2001) En ella es posible encontrar los niveles de tensión y corrientes a los que deben regirse las empresas europeas de distribución. Esta norma específica los límites de tensión armónicos para sistemas de MT y BT. Para esta normativa se consideran sistemas con tensión de hasta 35 kV. Los límites de distorsión armónica de tensión se expresan en porcentaje de la tensión fundamental de alimentación. Más información sobre dicha norma puede encontrarse en (CONELEC, 2001).

La regulación emitida por el ARCONEL estipula los niveles de calidad de suministro de energía eléctrica en la etapa de distribución y los métodos a ser aplicados para su evaluación. En cuanto a los límites de distorsión armónica, la regulación manifiesta que los mismos serán expresados en porcentaje según la relación existente entre la tensión del punto de medición y la tensión nominal del sistema. Más información sobre dicha regulación puede encontrarse en (Martínez-Gómez, Guerrón, & Riofrio, 2017).

#### 3. RESULTADOS

En este apartado se presenta los resultados de las medidas de 50 armónicos de tensión y corriente, en porcentaje de tensión y corriente nominal, respectivamente.

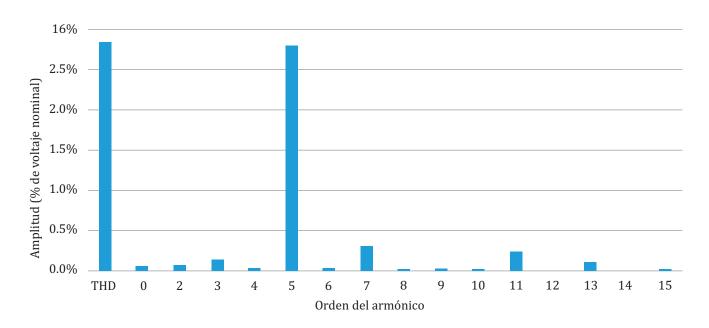
En relación a los valores de tensión y valor eficaz de corriente (RMS) que se han obtenido en la acometida de electricidad en la vivienda es bifásica con tensión línea-neutro de 127 V y tensión línea-línea de 220 V.

# 3.1 Armónicos de la residencia sin cocina de inducción

Los valores obtenidos para armónicos de tensión y la distorsión armónica total (THD del inglés *Total Harmonic Distortion*) en la residencia prototipo, para el caso de no tener en cuenta ninguna cocina de inducción (solamente las cargas especificadas en la Tabla 1), se detallan en el espectrograma de la Figura 2. Se muestra la amplitud del armónico hasta el armónico de orden 15, puesto que los restantes presentan un valor cercano a cero. Se puede observar que el THD tiene un valor de 2.83 % para el quinto armónico. Se destaca además que los armónicos

restantes presentan amplitudes inferiores al 0.35 %, incluido el tercer amónico. Relacionado con el PEC, los armónicos de tensión de las los hogares, sin cocinas de inducción, cumplen con los límites establecidos en los estándares IEC 61000-3-6, EN 50160 y la regulación CONELEC 004/01 de calidad de energía.

Figura 2. Armónicos de tensión de la residencia prototipo sin cocina de inducción, hasta el armónico 15



Fuente: Elaboración de autores

Los armónicos de corriente y el THD de corriente en la residencia prototipo, con las cargas especificadas en la Tabla 1 y sin incluir ninguna cocina de inducción, se detallan en el espectrograma de la Figura 3. En la figura 3 se observa el THD de corriente es de 0.1 %, siendo el tercer y quinto armónico los más considerables con un valor de 0.09 % y 0.04 %, respectivamente. Se puede concluir que los armónicos de corriente de los hogares que se adscribirán al PEC, sin cocinas de inducción, cumplen con los límites establecidos en los estándares IEC 61000-3-6, EN 50160 y la regulación CONELEC 004/01 de calidad de energía.

El crecimiento medio del THD de tensión en valor absoluto por la inclusión de cocinas de inducción es de 2.83 % a 2.91%, es decir tan solo 0.08 %.

0.12% Amplitud (% de corriente nominal) 0.10% 0.08% 0.06% 0.04% 0.02% 0.0% 0 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 THD 14 15

Orden del armónico

Figura 3. Armónicos de corriente de la residencia prototipo sin cocina de inducción, hasta el armónico 15

Fuente: Elaboración de autores

# 3.2 Armónicos en la residencia con cocina de inducción en modo de espera

En esta subsección se presentan los resultados de armónicos de tensión y corriente cuando una cocina de inducción se encuentra conectada a la residencia, es decir conectada a un tomacorriente, pero esta cocina no se encuentra en el proceso de cocción.

Los resultados de los armónicos de tensión y el THD de tensión de las 4 cocinas de inducción en modo de espera, hasta el armónico 15 se presentan en la Figura 4 (siguiente página). El THD de tensión es 2.92%, 3.00%, 2.92% y 2.82% para las cocinas 1, 2, 3 y 4, respectivamente, siendo el quinto armónico el más considerable con valores de 2.89%, 2.98%, 2.89% y 2.7%.

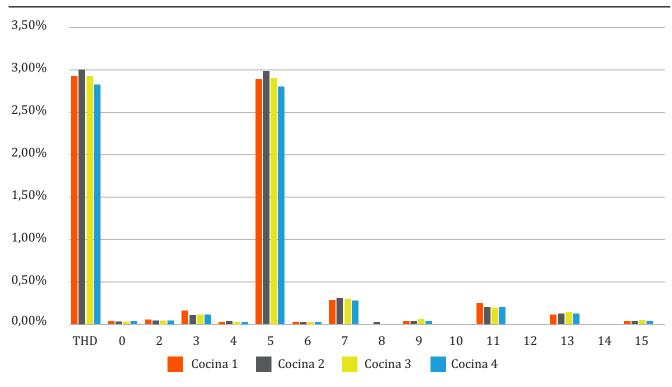
El crecimiento medio del THD de tensión en valor absoluto por la inclusión de cocinas de inducción es de 2.83% a 2.91%, es decir tan solo 0.08%. En este sentido, los armónicos de tensión en hogares

con cocinas de inducción, cumplen con los límites establecidos en los estándares IEC 61000-3-6, EN 50160 y la regulación CONELEC 004/01 de calidad de energía.

Los resultados de los armónicos de corriente y el THD de corriente de las 4 cocinas de inducción en modo de espera, hasta el armónico 15 se presentan en la Figura 5 (siguiente página). El THD es 0.16%, 0.13%, 0.10% y 0.07% para las cocinas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. El tercer armónico tiene valores de 0.07%, 0.07%, 0.07%, 0.06%. El quinto armónico tiene valores de 0.14%, 0.11%, 0.04%, 0.03%.

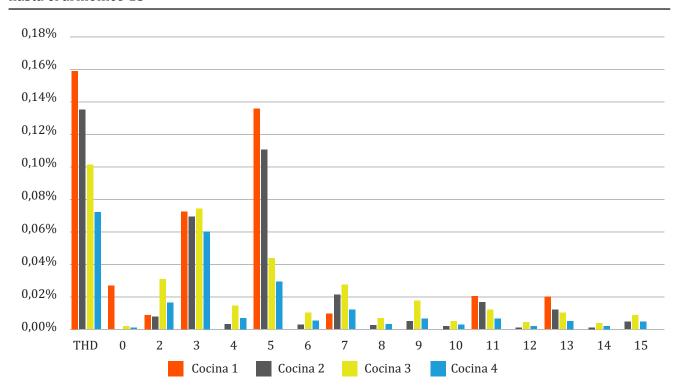
El crecimiento medio del THD de corriente en valor absoluto por la inclusión de cocinas de inducción es de 0.10% a 0.115%, es decir tan solo 0.015 %. Se puede observar que al incluir cualquiera de los 4 modelos de cocinas de inducción los armónicos de tensión y corriente siguen encontrándose con valores inferiores a los dictados por normativas nacionales e internacionales.

Figura 4. Resultados de los armónicos de tensión de las 4 cocinas de inducción en modo de espera, hasta el armónico 15



Fuente: Elaboración de autores

Figura 5. Resultados de los armónicos de corriente de las 4 cocinas de inducción en modo de espera, hasta el armónico 15



Fuente: Elaboración de autores

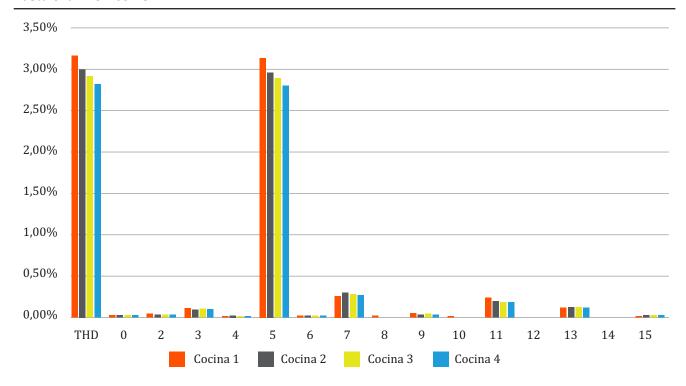
# 3.3 Armónicos de la residencia con cocina de inducción en operación

En esta subsección se presentan los resultados de armónicos de tensión y corriente cuando una cocina de inducción se encuentra conectada a la residencia y funcionando, es decir se encuentra en el proceso de cocción de alimentos. Los resultados armónicos de tensión y el THD de tensión de las 4 cocinas de inducción, hasta el armónico 15, se presenta en la Figura 6. El THD 3.16%,

2.99%, 2.91% y 2.82% para las cocinas 1, 2, 3 y 4, respectivamente, siendo el quinto armónico el más considerable con valores de 3.14%, 2.96%, 2.89% y 2.79%.

El crecimiento medio del THD de tensión en valor absoluto por la inclusión de cocinas de inducción es de 2.83% a 2.97%, es decir tan solo 0.14%.

Figura 6: Resultados de los armónicos de tensión de las 4 cocinas de inducción en estado de operación, hasta el armónico 15



Fuente: Elaboración de autores

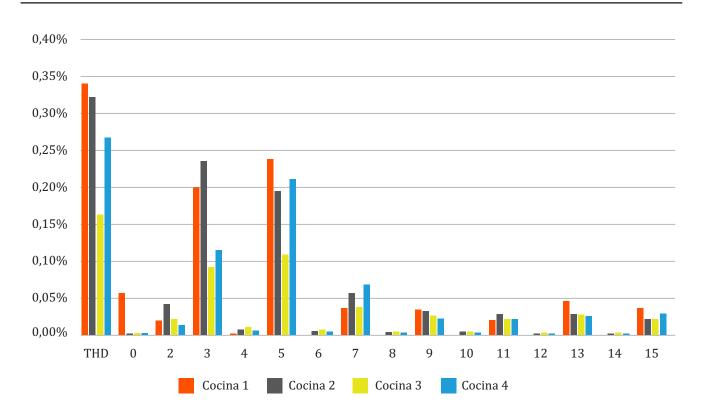
Los resultados de los armónicos de corriente y el THD de corriente de las 4 cocinas de inducción en estado de operación se presentan en la Figura 7. Los THD de corriente fueron 0.34%, 0.32%, 0.16% y 0.27% para las cocinas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. El tercer armónico tiene valores de 0.20%, 0.24%, 0.09%, 0.11%.

El quinto armónico tiene valores de 0.24%, 0.19%, 0.11%, 0.21%.

El crecimiento medio del THD de corriente en valor absoluto por la inclusión de cocinas de inducción es de 0.10% a 0.27%, es decir 0.17%, esto equivale a un crecimiento de 170%.

Se puede observar que al operar cualquiera de los cuatro modelos de cocinas de inducción los armónicos de voltaje y corriente cumplen con los límites establecidos en los estándares IEC 61000-3-6, EN 50160 y la regulación CONELEC 004/01 de calidad de energía. Sin embargo los armónicos de corriente tienen un crecimiento significativo.

Figura 7. Resultados de los armónicos de corriente de las 4 cocinas de inducción en estado de, hasta el armónico 15



Fuente: Elaboración de autores

# 3.4 Tabulación de armónicos producto de las cocinas conectadas en modo de espera

Los resultados de los niveles de armónicos de tensión y corriente cuando las cocinas de inducción se encuentran se encuentra en modo de espera se observa en la Tabla 3. El THD de tensión sufre un crecimiento medio en valor absoluto de 0.09% y máximo de 0.17%, el quinto armónico crece en cantidades similares. El THD de corriente sufre un crecimiento en valor absoluto de 0.02% y máximo de 0.06%, el tercer amónico decrece en valor absoluto una media de 0.02% y el quinto armónico crece 0.05%.

En cuanto a los análisis estadísticos, los resultados mostraron una covarianza entre los THD de tensión y el THD de corriente de 0.0019, lo que sugieren una relación entre los dos valores. La desviación típica en los THD de tensión varía entre 0.07 y 0.08, mientras que en el THD de corriente tiene una variación en dicho valor entre 0.01 y 0.05. Por último, la varianza se sitúa tanto para el THD de tensión y como el THD de corriente por debajo del 1%.

Tabla 3. Resultados de los niveles de armónicos de tensión y corriente cuando las cocinas de inducción se encuentran en modo de espera

			Sin cocina	Modo espera	Promedio	Desviación típica	Varianza	Diferencia	Diferencia promedio
Armónicos de tensión (%)	THD	1		2.92	2.91	0.07	0.004	0.09	0.09
		2	2.83	3.00				0.17	
te.		3	2.00	2.92			0.001	0.09	
de O		4		2.82				-0.01	
() SO3		1		2.89		0.08		0.09	0.09
óni	5to	2	2.8	2.98	2.89		0.005	0.18	
JH.		3	2.0	2.89				0.09	
A		4		2.79				-0.01	
	THD	1	0.1	0.16	0.11	0.04	0.001	0.06	0.01
ıte		2		0.13				0.03	
		3		0.10				0.00	
rei		4		0.07				-0.03	
(O.	5to	1	0.04	0.14	0.08	0.05	0.002	0.10	0.04
le c		2		0.11				0.70	
. Sc.		3		0.04				0.00	
Armónicos de correinte (%)		4		0.03				-0.01	
	3ro	1	0.09	0.07		0.01	0.000	-0.02	-0.02
		2		0.07	0.07			-0.02	
		3		0.07				-0.02	0.02
		4		0.06				-0.03	

Fuente: Elaboración de autores

# 3.5 Tabulación de armónicos producto de las cocinas en operación

En la Tabla 4 se puede observar la diferencia de los niveles de armónicos producidos por el funcionamiento de las cocinas de inducción en la casa prototipo. El THD de tensión sufre un crecimiento en valor absoluto de 0.14% y máximo de 0.33%, el quinto armónico crece en cantidades similares. El THD de corriente sufre un crecimiento medio en valor absoluto de 0.17% y máximo de 0.24%, el tercer amónico crece una media de 0.07% y el quinto armónico 0.15%.

En cuanto al análisis estadísticos, los resultados mostraron una covarianza entre los THD de tensión y el THD de corriente de 0.007, lo que sugieren una leve relación entre los dos valores. La desviación típica en los THD de tensión varía

ventre 0.14 y 0.15, mientras que en el THD de corriente tiene una variación en dicho valor entre 0.06 y 0.08. Por último, la varianza se sitúa tanto para el THD de tensión llega hasta el 1.6% y como el THD de corriente por debajo del 1%.

Se destaca que el crecimiento del THD de corriente es significativo con un crecimiento medio sin cocina de inducción de 170% hasta 240%, No obstante, encuentra que al operar cualquiera de los 4 modelos de cocinas de inducción los armónicos de voltaje y corriente cumplen con los límites establecidos en los estándares IEC 61000-3-6, EN 50160 y la regulación CONELEC 004/01 de calidad de energía. Sin embargo, los armónicos de corriente tienen un crecimiento significativo.

Tabla 4. Resultados de los niveles de armónicos de tensión y corriente cuando la cocina se encuentra en funcionamiento y apagada

			Sin cocina	Funcionando	Promedio	Desviación típica	Varianza	Diferencia	Diferencia promedio
Armónicos de tensión (%)	THD	1	2.83	3.16	2.97	0.14	0.015	0.33	0.14
		2		2.99				0.16	
		3	]	2.91				0.08	
de %		4		2.82				-0.01	
800		1		3.14		0.15	0.016	0.34	0.15
óni	5to	2	2.8	2.96	2.89			0.16	
Ŭ.		3	2.0	2.89				0.09	
<u>4</u>		4		2.79				-0.01	
	THD	1		0.34	0.27	0.08	0.005	0.24	0.17
		2	0.1	0.32				0.22	
nte		3		0.16				0.06	
rei		4		0.27				0.17	
OL	5to	1	0.04	0.24	0.19	0.06	0.002	0.20	0.15
de c		2		0.19				0.15	
)S (		3		0.11				0.07	
nic		4		0.21				0.17	
nóı		1	1 2 3 4	0.20	0.16	0.07	0.004	0.11	0.07
Armónicos de correinte (%)	3ro	2		0.24				0.15	
		3		0.09				0.00	
		4		0.11				0.02	

Fuente: Elaboración de autores

### 4. DISCUSIÓN

Esta investigación presenta el análisis de la calidad de energía, dentro del PEC de Ecuador que pretende la introducción de 2 a 3 millones de cocinas de inducción, Para el análisis de la calidad de la energía se han tenido en cuenta un análisis de los armónicos de tensión y corriente en cuatro modelos de cocinas de inducción dentro del PEC. Este trabajo ayuda a la literatura existente sobre los estudios de los armónicos en el hogar. Además, dicha investigación sirve de insumo al gobierno de Ecuador para regular la política de electricidad en el hogar y potenciar el PEC. Además, puede impulsar a programas de cocción limpia, basado en electricidad alrededor del mundo.

Las mediciones realizadas evidencian que la cocina de inducción genera mayor distorsión armónica de tensión durante su modo de funcionamiento que en el modo de espera, sin embargo, el crecimiento en valor absoluto fue de 0.08 % en caso de los armónicos de tensión y de 0.015% en el caso de los armónicos de corriente para cuando las cocinas están sin funcionar. El crecimiento en valor absoluto de los armónicos de tensión fue de 0.14 % y de 0.015% en el caso de los armónicos de corriente para cuando las cocinas están estaban funcionando. En ningún caso supera los límites establecidos en los estándares IEC 61000-3-6, EN 50160 y la regulación CONELEC 004/01 para calidad de energía eléctrica del Ecuador en distribución. El crecimiento medio en porcentaje del THD sin cocina de inducción es de 3 % y 5 % para las cocinas de inducción en modo de espera y funcionando, respectivamente.

El cambio de tecnología de cocción en el Ecuador, por cocinas de inducción, no generará problemas en la distorsión armónica de tensión y corriente.

De manera similar la distorsión armónica de corriente es superior cuando la cocina se encuentra funcionado que cuando se encuentra en modo de espera. El crecimiento en valor absoluto es relativamente bajo y en ningún caso supera los límites establecidos en las normas, de hecho, el valor es sumamente inferior a los límites. El crecimiento medio en porcentaje del THD sin cocina de inducción es de 20 % y 170 % para las cocinas de inducción en modo de espera y funcionando, respectivamente. En este punto cabe hacer hincapié que, aunque no se sobrepasen los límites establecidos en las normativas, en las horas donde las personas cocinan habrá un aumento de alrededor de 170 % en los armónicos de corriente en la red de distribución, principalmente el quinto armónico que crece 375 % y el tercer armónico que crece 78 %.

Los resultados obtenidos se encuentran en relación con los obtenidos dentro de la investigación "Analysis of the" Plan Fronteras" for Clean Cooking in Ecuador" (Martínez-Gómez, Guerrrón & Riofrio, 2017) se analizaron los efectos de los armónicos de las cocinas de inducción en todo un pueblo al norte de Ecuador. Además, lo encontrado en los resultados, ayuda al análisis efectuado en "Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales" (Suarez et al. 2005) donde se había realizado un análisis de la distorsión armónica, pero sin tener en cuenta la introducción masiva de algunos electrodomésticos. En este sentido se encontraron valores de distorsión armónica en tensión y corriente similares a los encontrados en este artículo. La temática y los resultados de este artículo también están relacionados con la investigación "A study on the effects of voltage distortion on current harmonics generated by modern SMPS driven home appliances in Smart Grid network" (Kit, Tse, & Lau, 2012) observándose que se han encontrado resultados similares a los obtendios en este artículo.

#### 5. CONCLUSIONES

Este trabajo analiza la irrupción de cocina de inducción en Ecuador dentro del PEC, las cuales incorporan cargas no lineales, que inyectan armónicas de corriente, distorsionando su forma de onda. De esta forma se ha examinado cómo interactúan estas cargas con la impedancia del sector residencial, distorsionando la tensión y como las cocinas actúan sobre el sistema la red eléctrica.

Con los resultados obtenidos, se ha observado que el cambio de tecnología de cocción en el Ecuador por cocinas de inducción no generará problemas en la distorsión armónica de tensión y corriente en las residencias y hogares en los cuales se adquiera esta tecnología. Adicionalmente, se estima que no habrá repercusión en el THD de las redes de distribución. Sin embargo, sí incrementará el THD de corriente en las horas cuando el sector residencial cocina sus alimentos. Este crecimiento será del 170%, un valor considerable pero que no sobrepasa los límites de las normativas.

Esta investigación ayudaría en otros trabajos, para solucionar información sobre la calidad de la red eléctrica, por la irrupción de aparatos eléctricos dentro del hogar que genera la inclusión fuentes de perturbación de los sistemas eléctricos.

En este sentido, también puede ayudar a los programas de acceso a cocción limpia de alimentos basado en electricidad, ya que se observa que la cocina de inducción es un equipo que tienen unos niveles dentro de la norma de introducción de armónicos en la red.

### **BIBLIOGRAFÍA**

CONELEC, R. (2001). 004-01. Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución.

Kit, M. Y., Tse, C. F., & Lau, W. H. (2012, November). A study on the effects of voltage distortion on current harmonics generated by modern SMPS driven home appliances in Smart Grid network. In Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM 2012), 9th IET International Conference on IET, 1-6.

IEEE Task Force. (1993) "Effects of harmonics on equipment", IEEE Trans. Power Delivery, 8.

Martínez-Gómez, J., Ibarra, D., Villacis, S., Cuji, P., & Cruz, P. R. (2016). Analysis of LPG, electric and induction cookers during cooking typical Ecuadorian dishes into the national efficient cooking program. Food Policy, 59, 88-102.

Martínez-Gómez, J., Guerr, G., & Riofrio, A. J. (2017). Analysis of the" Plan Fronteras" for Clean Cooking in Ecuador. International Journal of Energy Economics and Policy, 7(1).

Norma, U. N. E. E. N. (1996). 50160. Características de la tensión suministrada por la redes de distribución.

Plan Maestro de Electrificación. Ecuador 2012-2021. 2011.

Riofrío, A., Carrión, D., Orozco, M., Vaca, D., & Martínez, J. (2014). Análisis del consumo energético en procesos de cocción eficiente para el sector residencial. In Memorias del Congreso latinoamericano de ingeniería mecánica Colim (Vol. 8, pp. 268-273).

Riofrio, A. (2015). Modelización de una micro red fotovoltaica aplicada a equipos de cocción por inducción para el reemplazo de GLP. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

Suárez, J., Mauro, G., Anault, D., & Agüero, C. (2005). Análisis de la distorsión armónica y los efectos de atenuación y diversidad en áreas residenciales. Revista del IEEE América Latina, 3(5), 71-77.

Villacís, S., Martínez, J., Riofrío, A. J., Carrión, D. F., Orozco, M. A., & Vaca, D. (2015). Energy efficiency analysis of different materials for cookware commonly used in induction cookers. Energy Procedia, 75, 925-930.

# SEGURIDAD JURÍDICA EN LA INTEGRACIÓN ENERGÉTICA: DELITOS ENERGÉTICOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Tatiana Castillo Moreno 1

Recibido: 23/oct/2017 y Aceptado: 31/oct/2017 ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (96-121).



1 Abogada (Universidad de la Habana), Master en Negociaciones Internacionales y Comercio Exterior, (Universidad Central del Ecuador). Experiencia en asesoría legal, en entidades de los sectores público, privado y mixto. Actualmente, se desempeña como Asesora Legal de la Secretaría Permanente de OLADE. tatiana.castillo@olade.org

#### **RESUMEN**

La presente investigación se desarrolló sobre la base de un análisis comparativo, desde el punto de vista doctrinal, de la forma en la que los Países Miembros de la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE, regulan en sus legislaciones nacionales las conductas delictivas relacionadas con la energía. Adicionalmente implica el establecimiento de correspondencias entre la adecuada tipificación de los delitos energéticos y la seguridad jurídica, así como sus implicaciones en el proceso de integración energética en la región de América Latina y El Caribe.

**Palabras claves:** Delito, Energía, Seguridad Jurídica

### **ABSTRACT**

This research was developed on the basis of a comparative analysis, from the doctrinal point of view, about how the Member Countries of the Latin American Energy Organization, OLADE regulate the criminal behaviors related to energy, within their national legislations. Furthermore, it implies the establishment of correspondences between the appropriate classification of energy crimes and legal security, as well as their implications for the energy integration process in the Latin America and the Caribbean region.

**Keywords:** Felony, Energy, Legal Security

### 1. INTRODUCCIÓN

Por su inminente relevancia en el proceso de industrialización y el papel fundamental que tiene su acceso en el mejoramiento de la calidad de vida y el desarrollo sostenible, en la actualidad, la energía se erige como una materia relevante en todos los diversos ámbitos de la sociedad, haciéndose presente en la economía, la conservación del medio ambiente, y por supuesto en el Derecho.

La importancia que ha alcanzado la energía es tal que ha sido incluso considerada por ciertas corrientes economicistas como el cuarto factor de la producción. Quienes enarbolan esta teoría se fundamentan en que sin la aplicación de energía no se logra la producción en la tierra, el capital no se puede transformar y el trabajo no va más allá de su fuerza natural.

Esto explica que la energía se considere como un sector estratégico, y en muchos casos el Estado se reserve el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar el acceso, a esta, como una función social sin ánimo de lucro.

Dada su significativa incidencia en la esfera política y económica, este sector ha adquirido existencia propia y por lo tanto requiere de un marco normativo exclusivo que esté en correspondencia con su trascendencia económica y geopolítica y que sirva de base para la elaboración y puesta en práctica de las políticas energéticas nacionales.

En este sentido, en las últimas décadas, gran parte de los estados de la región latinoamericana y caribeña han asumido la necesidad de profundizar el desarrollo y la innovación de la regulación energética, para normar estrategias y lineamientos tales como el control estatal sobre los recursos energéticos, la protección y administración de las reservas y yacimientos, las sanciones a los delitos cuyo objeto de protección recae en la energía, los alcances de las resoluciones de organismos internacionales en materia de integración energética, el establecimiento de licencias ambientales para exploración y explotación de recursos, los diversos regímenes de administración, entre otros de marcada importancia en el ámbito de la cadena energética.

En la solución jurídica de temas energéticos se evidencia con frecuencia la aplicación de normas ad hoc que si bien resuelven situaciones concretas en momentos específicos impiden el desarrollo de una normativa exclusiva para este importante sector. La actividad energética implica múltiples y complejas situaciones que en gran cantidad de los casos pueden desencadenar conflictos de toda índole, susceptibles de afectar tanto a agentes económicos y políticos, entre los que constan el Estado, las empresas privadas, organismos internacionales entre otros entes entre los que puede haber contraposición de intereses viéndose afectada en última instancia la sociedad, lo que evidencia la imperiosa necesidad de determinar un marco normativo exclusivo y especial para este sector.

El Derecho de la energía, como sistema legal que estudia las políticas energéticas y su aplicación en correspondencia con la legislación de un determinado Estado, figura entre las ramas más jóvenes de las ciencias jurídicas. Sin embargo, ha experimentado un vertiginoso y profundo desarrollo en las últimas dos décadas.

Este compendio de preceptos regula las relaciones que en torno a la energía surgen entre las personas naturales y jurídicas y el Estado en lo que respecta a derechos y deberes en relación al uso de los recursos energéticos, que como es ergo conocido son finitos y no están equitativamente distribuidos lo que dificulta la universalización de su acceso. En este sentido los países se esfuerzan en alcanzar la seguridad energética ya que de esta depende en gran medida su desarrollo y por ende la elevación de las condiciones de vida de su población.

El Derecho de la Energía ha venido a suplir los vacíos legislativos que se generaban como consecuencia de tratar a la energía como un bien más. En la última década se han desarrollado a escala mundial nuevas regulaciones que se proponen resolver las deficiencias existentes en el ámbito de la seguridad energética. Esta disciplina ha establecido nuevas obligaciones en materia de seguridad energética perfilando el papel de cada uno de los actores que interactúan en la cadena energética.

Esta rama del Derecho tiene a su cargo la codificación y reglamentación de toda la actividad y el comercio de la energía, y dada su complejidad, su objeto de regulación trasciende a las esferas del Derecho Económico, Mercantil, Internacional Público, Internacional Privado, Tributario, Financiero, Administrativo, Constitucional, Civil, Penal entre otras. Resulta tan extensa la materia que en los últimos años han surgido corrientes

El Derecho de la energía ha experimentado un vertiginoso y profundo desarrollo en las últimas dos décadas.

doctrinales que prefieren denominarlo con el término Derecho de la energía y los productos básicos.

A los efectos del presente análisis, en el marco del Derecho de la Energía, se otorga especial atención a la tipificación de los denominados delitos energéticos en los códigos penales de los Países Miembros de la Organización Latinoamericana de Energía, OLADE.

La seguridad jurídica y su correspondiente estabilidad contractual implica la firmeza de las normas y compromisos adquiridos así como su permanencia en el tiempo, respaldados por los adecuados canales y mecanismos coercitivos para su cumplimiento, lo que permite que los actores económicos o políticos puedan prever la rentabilidad o conveniencia de sus inversiones e intereses evitando que estos se vean afectados por cambios regulatorios bruscos e imprevistos o incumplimientos de obligaciones pactadas que afecten la concreción de las resultados previstos en los intercambios comerciales y en el proceso de integración energética.

Un sistema de Derecho que se mantenga estable en el tiempo y que cuente con mecanismos que no permitan cambios bruscos injustificados y que a su vez cuente con premisas e instancias coercitivas que garanticen el cumplimiento de las obligaciones y derechos pactados por la vías formales genera confianza tanto al inversionista como a entes estatales y a consumidores, ya que garantiza la utilidad de inversiones al sector privado y el acceso a la energía a la población a costos razonables.

Por su parte la doctrina jurídica relaciona la estabilidad jurídica y la seguridad contractual jurídica con la perdurabilidad en el tiempo de las normas vigentes a fines de que los actores económicos puedan hacer predicciones más o menos firmes sobre cómo los tribunales resolverán sus disputas en caso de conflicto. Esta visión no contempla una maximización de utilidades.

La seguridad jurídica del Derecho se enfoca hacia la protección de todos los intereses involucrados en las operaciones que se realicen dentro del proceso de integración energética, protegiendo en este caso el derecho de los consumidores a acceder a los servicios energéticos de manera continua, segura y mediante costos razonables, al Estado protegiendo su propiedad sobre los recursos naturales y su soberanía energética, a los inversionistas protegiendo los valores comprometidos en el proceso, al medio ambiente liberándolo de afectaciones vinculadas a la explotación de recursos energéticos, etc. En conclusión, la seguridad jurídica vela porque se cumpla lo establecido y que en caso de incumplimientos existan las vías y los mecanismos para garantizar las debidas sanciones, a fin de que todos los intereses comprometidos en el proceso cuenten con la debida protección jurídica.

El proceso de integración energética en la región se ve constantemente afectado por barreras de índole normativa generadas por la coexistencia de los disímiles ordenamientos jurídicos que rigen el sector energético con las particularidades de cada país. En la región sur existe un marco supranacional en la Comunidad Andina de Naciones, este mecanismo empleado al interior de ciertos bloques regionales aporta soluciones ágiles y precisas para este tipo de barreras. Es importante recalcar que la supranacionalidad se manifiesta en niveles avanzados de integración por lo que a falta del "derecho comunitario" aplicable en forma directa a los intercambios internacionales, la variante consiste en acudir a la armonización normativa.

Queda claro que uno de los principales obstáculos frente a la integración energética está dado por la diversidad de marcos regulatorios imperantes en la región. La adecuada tutela de la energía y sus fuentes generadoras, en este caso reflejada en la inclusión de los denominados delitos energéticos en los respectivos códigos penales de los países miembros de OLADE, representa una garantía en cuanto a la implementación de proyectos de

integración tales como interconexiones eléctricas, oleoductos, gasoductos entre otras iniciativas que requieran de seguridad contractual y estabilidad jurídica para garantizar a sus partes un óptimo logro de los resultados previstos.

Cabe destacar que de existir cierta uniformidad en la región latinoamericana y caribeña en cuanto a la tipificación y codificación de los delitos energéticos esto redundaría en beneficios para la integración energética aun cuando este menester enfrentaría los retos de la coexistencia de dos sistemas jurídicos diferentes como son en este caso el romano francés y el anglosajón los que precisamente en el Derecho Penal y sobre todo en lo que respecta a procedimiento presentan marcados contrastes.

Resulta importante enfatizar que se trata de un tema sobre el que existe una muy exigua jurisprudencia que, se refiere de manera más amplia al marco de los procesos contencioso administrativos evidenciándose en algunos casos la falta de regulación de una aleatoria actuación penal.

### 2. DELITOS ENERGÉTICOS EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Se consideran delitos energéticos a las acciones u omisiones socialmente peligrosas y punibles que afectan de manera directa a cualquiera de las actividades de la cadena energética, siendo el bien protegido la producción de energía, el acceso a esta y sus fuentes o productos.

El presente artículo está estructurado sobre la base de una investigación comparativa de la regulación de delitos energéticos en los Países Miembros de OLADE. Adicionalmente, con los resultados obtenidos del análisis doctrinal se plantea una propuesta para una completa tipificación de los delitos energéticos en las legislaciones nacionales. A tales efectos se han establecido tres parámetros de análisis:

Parámetros para hacer el estudio comparativo

- 1. Inclusión de delitos energéticos en la ley penal.
- 2. Tipos de delitos energéticos contemplados en la ley penal y bien jurídico protegido.
- 3. Subsectores que se abarcan (hidrocarburos, electricidad, energía nuclear) en la tipificación de delitos energéticos.

# 2.1 Inclusión de delitos energéticos en la ley penal

La doctrina jurídica concibe al delito como toda acción u omisión socialmente peligrosa prohibida por la ley bajo advertencia de una sanción penal. Es importante destacar que únicamente son punibles las conductas expresamente determinadas como delitos en la ley penal, siempre con anterioridad a su comisión. Con fundamento en el principio romano *Nullum crimen, nulla poena sine praevia lege poenali* no puede imputarse a nadie una sanción penal que no se encuentre tipificada en la ley previa al acto sancionable.

Las acciones u omisiones fraudulentas o riesgosas relacionadas con el sector de la energía afectan y ponen en peligro disímiles bienes jurídicos de interés estatal y social, a los que el Código Penal otorga un amparo especial entre los que se encuentran la seguridad colectiva, el orden socioeconómico, la fe pública, el patrimonio, el medio ambiente entre otros.

La tipificación expresa de estas conductas con su correspondiente sanción permite: proteger a la sociedad en su conjunto, a las personas naturales o jurídicas, al orden social, económico y político incluyendo al Estado; precautelar la propiedad reconocida en la Constitución y las leyes; fomentar la observancia íntegra de los derechos y deberes de los ciudadanos; coadyuvar a desarrollar y consolidar en la ciudadanía la conciencia del acatamiento de la legalidad, así como desincentivar la perpetuación de estos actos más aún cuando implican sanciones severas.

En este punto cabe hacer alusión a las nociones de atipicidad y reenvío de la norma. La doctrina jurídica y específicamente la teoría del delito emplean el concepto de tipicidad para referirse a la descripción de la hipótesis en una norma penal, en la que se incluye una conducta abstracta, punible cuando el sujeto activo incurre en ella. En este sentido, la tipificación de un delito debe incluir la determinación de los sujetos activo y pasivo, la acción u omisión antijurídica y la sanción, en caso de que falte alguno de estos elementos no se llega a configurar la estructuración del delito. de faltar uno de ellos se estaría en presencia de una atipicidad caso común en materia energética cuando se incluyen prohibiciones de determinados actos sin determinar sanciones para los sujetos activos, este tipo de leyes se denominan también leyes en blanco porque se produce un reenvío de la norma a otra en la que se encuentra la sanción o cualquier otro de los elementos que conforman la tipificación de la conducta prohibida. En todos estos casos se desvirtúa la legalidad penal ya que al establecerse sanciones en normas diferentes al Código Penal se están quebrantando principios básicos del Derecho como el de Lex Certa, que determina que la ley penal es restrictiva, exhaustiva y nunca se puede aplicar la analogía como en el caso de los denominados hurto y robo de energía.

En algunos países de la región latinoamericana y caribeña existen disposiciones que siguen la modalidad denominada leyes penales en blanco, materializadas en normas que establecen la sanción pero no la hipótesis de la conducta ya que estas constan determinadas en otros instrumentos legales como leyes de hidrocarburos, de electricidad, etc.

Esta situación para el caso específico de las acciones penales podría presentar inconvenientes de aplicación, ya que si no consta su tipificación de manera expresa en el Código o Ley penal, en Derecho no podría otorgársele tratamiento de delito.

## Inclusión de delitos energéticos en los códigos penales de países de América Latina y el Caribe



A fines de combatir de manera enfática la perpetuación de acciones que vulneren a la energía y a sus fuentes, ocasionando pérdidas no técnicas y otros gastos e inconvenientes que perjudican la adecuada prestación de servicios para el acceso universal a la energía, existe en la actualidad una tendencia internacional hacía la elevación de algunas contravenciones mayores al rango de delitos para que de esta forma puedan ser sancionables a mayor escala.

Es importante dejar constancia de que el hecho de que no se incluyan los delitos energéticos en los Códigos Penales no significa, que de perpetuarse este tipo de conductas, queden en la impunidad; en la mayoría de los casos en los que no se determinan de manera específica los delitos energéticos, el quebranto de lo establecido para salvaguardar el sector de la energía, se sanciona mediante la configuración de delitos comunes como el hurto, el contrabando, la defraudación, entre otros que apliquen según el caso.

En la región latinoamericana y caribeña se ha demostrado la inclusión de delitos energéticos en los códigos penales de: Bolivia, Brasil, Ecuador, Cuba, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Uruguay, y Venezuela.

2.2 Tipos de delitos y de bien jurídico protegido

a) Delitos contra la propiedad o el patrimonio

En este caso la legislación penal protege bienes susceptibles de valoración económica sobre los que puede determinarse la pertenencia pudiendo ser esta pública o privada. El concepto patrimonio abarca también acepciones simbólicas o derechos adquiridos por determinado grupo social.

Existe una relación intrínseca entre la propiedad y el patrimonio, materializada en la titularidad de la que se deriva la facultad de uso, goce, disfrute y libre disposición de un bien o conjunto determinado de bienes, al tenor de los límites establecidos en el ordenamiento jurídico imperante.

La ley penal protege tanto al patrimonio como a la propiedad que sobre este se ejerza.

En este espectro entran todas las acciones referentes a fraude de fluido eléctrico, sustracción de electricidad, uso fraudulento de energía eléctrica y similares acciones u omisiones que generan pérdidas no técnicas a las distribuidoras del servicio de electricidad.

Todas estas acciones de una u otra forma implican la utilización de energía eléctrica, sin el consentimiento de su titular mediante, conexiones ilegales entre otros mecanismos instalados para cometer el fraude, alteración de las indicaciones o aparatos contadores u cualquier otro medio ilegal.

A continuación, ejemplos de la tipificación de delitos energéticos en los que el bien protegido es el patrimonio.

Tabla 1. Tipificación de delitos energéticos en los que el bien protegido es el patrimonio

Bolivia	Sustracción de energía (incluye el uso propio y el beneficio de terceros).
Chile	Hurto de redes de distribución de servicios públicos o domiciliarios de electricidad y gas.
	Receptación de cosas que forman parte de redes de suministro de servicios de electricidad o gas. (Implica guardar o tener en su poder elementos hurtados).
Colombia	Hurto calificado sobre elementos destinados a la generación, transmisión o distribución de energía eléctrica y gas domiciliario.
	Defraudación de fluidos (implica apropiación de energía eléctrica por mecanismos clandestinos y alteración de sistemas de control o contadores de energía eléctrica o gas natural).
	(continúa en la siguiente página)

Cuba	Sustracción de electricidad, gas o fuerza (implica sustracción de fluidos o fuerza de instalación personal o colectiva).			
Ecuador	Aprovechamiento ilícito de servicios públicos (implica alteración de los sistemas de control o aparatos contadores para aprovecharse de los servicios públicos de energía eléctrica, derivados de hidrocarburos, gas natural, gas licuado de petróleo, en beneficio propio o de terceros, o efectúen conexiones directas, destruyan, perforen o manipulen las instalaciones.			
El Salvador	Hurto de energía o fluidos (utilización ilícita de energía eléctrica).			
Guatemala	Hurto de fluidos (sustracción de energía eléctrica, gas o fuerza de una instalación).			
	Robo de fluidos (cuando la sustracción de energía eléctrica, gas o fuerza de instalación se realice mediante violencia).			
	Estafa de fluidos (aprovechamiento indebido de energía eléctrica mediante alteración de contadores, incluye además la defraudación al consumidor por alteración de medidores).			
Honduras	Hurto (se equipara a los bienes muebles la energía eléctrica).			
México	Robo (incluye el uso o aprovechamiento de energía eléctrica de cualquier fluido, o medio de transmisión sin derecho ni consentimiento).			
	Robo (incluye posesión o resguardo ilícito de petróleo crudo o hidrocarburos refinados, procesados o sus derivados.			
	Robo (incluye venta o suministro de gasolinas o diesel con conocimiento de que se está entregando una cantidad inferior desde 1.5 por ciento a la cantidad que registrada por los instrumentos de medición).			
	Robo (incluye venta o suministro de gas licuado de petróleo mediante estación de Gas L.P., para carburación, con conocimiento de que está entregando una cantidad inferior desde 3.0 por ciento a la cantidad que aparezca registrada por los instrumentos de medición )			
	Robo (incluye sustracción o aprovechamiento de petróleo crudo o hidrocarburos refinados, procesados o sus derivados de ductos, equipos o instalaciones de Petróleos Mexicanos, sus organismos subsidiarios o empresas filiales).			
Nicaragua	Aprovechamiento indebido de fluido eléctrico (se considera una defraudación e incluye manipulación de medidores y conexiones ilegales con perjuicios de un monto mensual igual o superior a tres salarios mensuales del sector industrial) <sup>1</sup> . (continúa en la siguiente página)			

 $<sup>^{1}</sup>$  El Código Penal Nicaragüense condensa en un mismo título los delitos contra el patrimonio y el orden socioeconómico.

	Daño agravado (incluye cualquier tipo de afectación parcial o total sobre plantas de producción o conductos de electricidad o sustancias energéticas).
Panamá	Hurto (incluye como agravante la apropiación de cosas destinadas a la prestación del servicio público de energía eléctrica).
	Estafa y otros fraudes (implica, utilizar o consumir energía sin el debido consentimiento o alterar cualquier elemento de medición o de control de esta).
	Estafa y otros fraudes (implica realizar a favor propio o de terceros instalaciones, conexiones que alteren o manipulen los instrumentos de medición para cometer fraude de energía eléctrica o quien fuerce o remueva dispositivo, filtro o equipo destinado a impedir el uso o la distribución no.
Paraguay	Daño a obras construidas o medios técnicos de trabajo (incluye la destrucción total o parcial de una instalación que administre luz, energía u otro elemento de importancia vital para la sociedad).
	Sustracción de energía eléctrica (implica la lesión de derecho de disposición de un tercero sobre la energía eléctrica y la utilización de esta mediante conductor no autorizado ni destinado a tales fines. La persecución es a instancia de víctima).
Perú	Hurto simple (incluye sustracción de energía eléctrica y el gas y cualquier otra energía o elementos que tenga valor económico).
	Hurto agravado (se tipifica cuando el delito recae sobre bienes que forman parte de la infraestructura, instalación o equipos destinados a la prestación de servicios públicos de electricidad o gas).
Uruguay	Hurto de energía (aplica a la sustracción de energía eléctrica sin intervención en los medidores ya que en este caso se maneja como estafa común. Se consideran circunstancias agravantes si el robo o la estafa afecta a entidades públicas).

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la comparación de los códigos penales vigentes (a la fecha de realización de la investigación) en los Países Miembros de OLADE.

Se evidencia el caso de otros países que prevén sanciones para el consumo fraudulento de electricidad en legislación especial distinta al código penal creando en este caso las denominadas tipificaciones en blanco tales son los casos en los que se establecen en la ley de electricidad conductas que se sancionan con multas y además se remiten a los delitos de hurto y robo prescritos en el correspondiente código penal, considerándose de esta forma a la energía eléctrica como un bien mueble. Un caso de esta

índole se presenta en Haití donde el Decreto del 21 de noviembre de 1975 condena y castiga el robo de electricidad con multa inclusive con prisión sin que conste específicamente tipificado este delito en el Código Penal.

Cabe destacar que recientemente el Senado de México apoyó una reforma de ley que propone catalogar como delincuencia organizada al "robo" de energía eléctrica y productos hidrocarburíferos, incluyendo en esta tipificación a todo tipo de

acciones ilícitas que impliquen sustracción o alteración de equipos o instalaciones del servicio público de energía eléctrica, alteración dolosa de los instrumentos de medición utilizados para enajenar o suministrar hidrocarburos refinados, procesados o sus derivados y sustracción y/o aprovechamiento de hidrocarburos o sus derivados y/o de los equipos o instalaciones de la industria petrolera.

### b) Delitos contra el orden socioeconómico

En esta categoría se incluyen aquellas hipótesis que contemplan acciones u omisiones que a más de atentar contra el patrimonio y la propiedad lesionan los intereses económicos y sociales del estado incluyendo su proyección exterior.

En este grupo se ubican conductas como el uso indebido de subsidios. Los subsidios que determinados estados otorgan a los precios de los servicios tales como la electricidad o combustibles derivados de hidrocarburos y gas licuado de petróleo (GLP), tienen como objetivo beneficiar a la población garantizando su acceso a los mismos. Este fin se ve afectado por la acción de personas que, realizan un uso indebido o un desvío ilícito en el caso de los combustibles derivados de los hidrocarburos, generándose así importantes pérdidas para la economía nacional.

Un estado que subsidia determinados servicios o productos energéticos los comercializa a un precio considerablemente inferior al establecido en el mercado internacional, en este caso es necesario establecer férreas medidas de control para evitar el contrabando en zonas de frontera, lo que implica contar con la previsión de medidas punitivas claras y específicas así como de instituciones encargadas del control del adecuado uso de las subvenciones. En algunos países estas conductas están incluidas como delitos contra la fe pública partiendo del principio de que la alteración de precios o calidad de un producto subsidiado por el estado afecta la imagen de su poder público político.

En esta categoría se ubican también los delitos dirigidos a causar distorsiones en el mercado energético mediante conductas tales como el desabastecimiento de productos y materias primas, la alteración de precios u otro tipo de conductas que perjudican a proveedores y/o consumidores. También se incluyen en esta clasificación el contrabando y el tráfico de productos energéticos entre otro tipo de fraudes al comercio y a la industria energética.

A continuación, ejemplos de la tipificación de delitos energéticos en los que el bien protegido es el orden socioeconómico.

Tabla 2. Tipificación de delitos energéticos en los que el bien protegido es el orden socioeconómico

#### Colombia

Contrabando de hidrocarburos y sus derivados (se tipifica con la importación a territorio colombiano de hidrocarburos o derivados en cantidades superiores a 20 galones así como con la exportación desde lugares no habilitados, incluyéndose el ocultamiento, disimulo o sustracción de la intervención y control aduanero).

Favorecimiento de contrabando de hidrocarburos o sus derivados (se tipifica para todo aquel que posea, tenga, transporte, almacene, distribuya o enajene hidrocarburos o derivados objetos de contrabando).

Favorecimiento por servidor público de contrabando de hidrocarburos o sus derivados (aplica para el servidor público que colabore, participe, transporte, distribuya, enajene o de cualquier forma facilite el contrabando omitiendo los controles legales o reglamentarios propios de su cargo).

(continúa en la siguiente página)

Apoderamiento de hidrocarburos, sus derivados, biocombustibles o mezclas que los contengan (implica apoderarse de hidrocarburos, sus derivados, biocombustibles o mezclas que los contengan, cuando sean transportados a través de un oleoducto, gasoducto, poliducto u otro medio o cuando se encuentren almacenados en fuentes inmediatas de abastecimiento o plantas de bombeo, así como mezclar ilícitamente hidrocarburos, sus derivados, biocombustibles o mezclas que los contengan).

Apoderamiento o alteración de sistemas de identificación (Implica el apoderamiento o alteración de sistemas o mecanismos legalmente autorizados para la identificación de la procedencia de los hidrocarburos, sus derivados, los biocombustibles o mezclas que los contengan, tales como equipos, sustancias, marcadores, detectores o reveladores).

Receptación (se tipifica para quien adquiera, transporte, almacene, conserve, tenga en su poder, venda, ofrezca, financie, suministre o comercialice a cualquier título hidrocarburos, sus derivados, biocombustibles o mezclas que los contengan o sistemas de identificación cuando tales bienes provengan de la ejecución de ilícitos).

Destinación ilegal de combustibles (se tipifica cuando sin autorización legal se venda, ofrezca, distribuya o comercialice combustibles líquidos, el delito se configura de igual forma para quien adquiera, transporte, almacene, conserve o tenga en su poder combustibles líquidos derivados del petróleo con destino a zonas de frontera, se considera una agravante la participación de un funcionario público o grupos armados organizados al margen de la ley).

Violación de fronteras para la explotación o aprovechamiento de los recursos naturales (se refiere a actos no autorizados de exploración, explotación o extracción de recursos naturales)<sup>2</sup>.

Daños en los recursos naturales<sup>3</sup>.

Exploración ilícita de yacimiento minero y otros materiales<sup>4</sup>.

Cuba

Explotación ilegal de la Zona Económica de la República (incluye recursos naturales del lecho y subsuelo marinos y los de aguas suprayacentes inmediatas a las costas fuera del mar territorial y zona contigua).

Ecuador

Aprovechamiento ilícito de servicios públicos (incluye ofrecimiento, prestación o comercialización de servicios públicos de luz eléctrica, sin estar legalmente facultada, mediante concesión, autorización, licencia, permiso, convenios).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Está ubicado en el título delitos contra los recursos naturales.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Ídem

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Ibídem

### México

Delito contra el consumo y la riqueza nacional (incluye impedir o tratar de impedir la generación, conducción, transformación, distribución o venta de energía eléctrica de servicio público).

Delito contra el consumo y la riqueza nacional (incluye interrumpir o interferir intencionalmente la producción o el servicio de almacenamiento o distribución de gas natural, artificial o licuado de petróleo).

Delito contra el consumo y la riqueza nacional (incluye alteración de instrumentos de medición utilizados para vender o suministrar hidrocarburos refinados, procesados o sus derivados).

Delito contra el consumo y la riqueza nacional (incluye cualquier sustracción o alteración de equipos o instalaciones del servicio público de energía eléctrica).

Delitos contra el consumo y la riqueza nacional (incluye obstrucción total o parcial del acceso o funcionamiento de equipos, instalaciones o inmuebles de la industria petrolera o del servicio público de energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la comparación de los códigos penales vigentes (a la fecha de realización de la investigación) en los Países Miembros de OLADE.

Cabe dejar constancia de que en muchos casos un delito energético tipificado por un país como delito contra la propiedad y el patrimonio en otro país se incluye en los delitos contra el orden socioeconómico. Esto responde a que se trata de bienes jurídicos estrechamente relacionados pues una afectación patrimonial dependiendo de sus propósitos y magnitudes en gran parte de los casos llega también a afectar el orden socioeconómico de una nación. c) Delitos contra la fe pública

La Administración Pública se compone del grupo de instituciones encargadas de llevar a cabo la gestión estatal, representando los intereses socioeconómicos públicos en lo que respecta a las personas, los bienes y las acciones. Constituye un canal de conexión inmediata entre el poder

público político y la ciudadanía basado en la confianza en la autoridad estatal.

La fe pública es un estado de convicción colectiva, una atestación, es la creencia que la población tiene en ciertos objetos o acciones por el hecho de provenir de una autoridad estatal convirtiéndose en algunos casos en verdaderos símbolos, por su poder de representación del poder público, por tanto, constituye un bien jurídico protegido en todos los ordenamientos legales.

A continuación, algunos ejemplos de los delitos en los que el bien protegido es la fe pública, entre los que se encuentran los delitos relativos a la comercialización ilícita de combustibles derivados de hidrocarburos, incluido el gas licuado de petróleo y biocombustibles.

### Tabla 3. Ejemplos de los delitos en los que el bien protegido es la fe pública

#### Ecuador

Tráfico ilegal de hidrocarburos, sus derivados, gas licuado de petróleo y biocombustibles (implica vender o distribuir por medios fraudulentos, dolosos o clandestinos en las zonas de frontera, a efectos de sacar ilegalmente del país, cualquier hidrocarburo, sus derivados, incluido el gas licuado de petróleo y biocombustibles).

Almacenamiento, transportación y comercialización ilegal de derivados de hidrocarburos (especialmente en zonas de frontera y mar territorial sin autorizaciones, guías y permisos exigidos).

Adulteración de hidrocarburos y sus derivados incluyendo el gas licuado de petróleo y biocombustibles (implica ánimo de lucro y alteración de cantidad o calidad). Uso indebido de derivados de hidrocarburos (incluye gas licuado de petróleo y biocombustibles).

Sustracción de hidrocarburos, sus derivados, biocombustibles o mezclas que los contengan (implica apoderamiento fraudulento de hidrocarburos y sus derivados cuando sean transportados a través de un oleoducto, gasoducto, poliducto o cuando se encuentren almacenados en fuentes de abastecimiento o plantas de bombeo.

Perjuicio al estado por destrucción de infraestructura hidrocarburífera (incluye daños al medio ambiente).

Paralización o suspensión injustificada de expendio o distribución de combustibles (incluye gasolina, diésel, gas licuado, biocombustible, etanol.

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la comparación de los códigos penales vigentes (a la fecha de realización de la investigación) en los Países Miembros de OLADE.

d) Delitos contra la seguridad pública o seguridad común (delitos contra la vida o la salud e integridad de las personas o sus bienes)

En este caso el bien jurídico protegido está dado por la convivencia armónica de la población lo que implica el respeto a los derechos individuales. Siendo el Estado el responsable de garantizar la seguridad pública, la tipificación de este tipo de delitos está dirigida a evitar alteraciones del orden social. La seguridad pública se refiere a la idoneidad de las condiciones de vida de la ciudadanía en un entorno de garantía social libre de amenazas o peligros de cualquier índole.

La seguridad pública se garantiza de manera universal incluyendo en su espectro la protección de la vida, la salud y la integridad física y psíquica de los ciudadanos y sus bienes. Se trata de la protección de un bien jurídico colectivo ante riesgos catastróficos inminentes.

Dentro de esta clasificación se ubican entre otros las acciones u omisiones que impliquen riesgos generados por el uso de la energía nuclear, tomando en cuenta que estos representan potenciales efectos catastróficos. La experiencia ha demostrado que la conducta humana, constituye uno de los principales factores de

riesgo en los accidentes en centrales nucleares pudiendo presentar a través de errores de operación, negligencias o acciones de sabotaje.

Algunos ordenamientos jurídicos en la tipificación de este tipo de delitos establecen delimitaciones entre los delitos que surgen de los procesos industriales realizados para la obtención de energía eléctrica mediante procesos

de fisión nuclear, y los delitos relacionados con las radiaciones ionizantes, que se derivan de las conductas relacionadas con el funcionamiento de las instalaciones radioactivas.

A continuación, algunos ejemplos de la tipificación de delitos vinculados a la energía en los que el objeto de protección recae en la seguridad colectiva:

Tabla 4. Tipificación de delitos vinculados a la energía en los que el objeto de protección recae en la seguridad colectiva

Segui idad coi			
Bolivia	Atentado contra la seguridad de los servicios públicos (incluye a los servicios públicos de luz, sustancias energéticas, energía eléctrica entre otras).		
Brasil	Incendio (incluye incendios contra pozos petrolíferos).		
	Atentado contra la seguridad de servicios de utilidad pública (incluye el servicio de luz y fuerza de calor).		
Colombia	Daño en obras o elementos de los servicios de energía y combustible (incluye instalaciones dedicadas a la producción y conducción de energía o combustible o a su almacenamiento).		
	Introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos (implica introducción a territorio nacional de desechos nucleares).		
	Perturbación de instalación nuclear o radiactiva (se refiere a cualquier acción que ponga en riesgo su normal funcionamiento).		
	Tráfico, transporte y posesión de materiales radiactivos o sustancias nucleares (incluye además fabricación, almacenamiento, distribución, utilización de desechos o uso de estas sustancias sin permiso de autoridad competente).		
Costa Rica	Robo, hurto, obtención fraudulenta, recepción, ingreso, posesión, uso, transferencia, alteración, desecho o dispersión de materiales nucleares sin autorización legal y con peligro para las personas, el medio ambiente o los bienes (incluye fabricación o posesión de dispositivos nucleares, dispersión de radiación y daño a instalaciones nucleares).		
	Atentado contra plantas, conductores de energía (incluye obras o instalaciones destinadas a la producción o transmisión de energía eléctrica o de sustancias energéticas).		
	Entorpecimiento de servicios públicos (se tipifica cuando (sin crear situación de peligro) se impida o entorpezca el normal funcionamiento del transporte de sustancias energéticas).  (continúa en la siguiente página)		

Cuba	Actos que pongan en peligro u ocasionen daños al transporte de materiales nucleares con el fin de obstaculizar su funcionamiento; liberación intencional de energía nuclear, sustancias radioactivas u otras fuentes de radiaciones ionizantes que pongan en peligro a las personas o a sus bienes; sustracción o desvío de la ruta o apoderamiento de materiales nucleares o sus desechos.			
	Poner en operación una instalación o medios de transporte en los que se empleen materiales nucleares sin la debida autorización (incluye recibir, transportar, almacenar, facilitar, traficar, arrojar o retirar materiales nucleares, sustancias radioactivas u otras fuentes de radiaciones ionizantes).			
El Salvador	Liberación de energía que ponga en peligro la vida o la salud de las personas o sus bienes (incluye la perturbación del funcionamiento de instalaciones o la alteración de las actividades en las que se utilizan materiales o equipos productores de energía creando una situación de grave riesgo).			
Guatemala	Atentado contra la seguridad de servicios de utilidad pública (incluye el servicio d energía eléctrica).			
Honduras	Destrucción, daño o entorpecimiento del servicio eléctrico.			
	Perjuicio a la seguridad o normal funcionamiento de establecimiento o instalación destinada a distribuir luz, energía o calor.			
Nicaragua	Atentando contra plantas o conductores de energía que pongan en peligro la vida o la salud de las personas (incluye obras o instalaciones destinadas a la producción o transmisión de energía eléctrica o de sustancias energéticas; atentado contra la seguridad de los medios conductores de energía, evitar la reparación de desperfectos de obras o instalaciones o el restablecimiento de los conectores energéticos interrumpidos).			
	Entorpecimiento de servicios públicos (implica crear una situación de peligro impidiendo u obstaculizando el normal funcionamiento del servicio público de electricidad u otras sustancias energéticas.			
Panamá	Daño o inutilización de redes u obras destinadas a la transmisión o transporte de energ eléctrica, gas o sustancias energéticas.			
Paraguay	Perturbación de servicios públicos (incluye interrumpir el funcionamiento de una instalación que sirva al suministro de luz, calor, aire climatizado o energía o dañar un establecimiento o instalación dedicado a estos fines o sustraer energía eléctrica destinada al mismo.			
Perú	Atentado contra fábricas, obras, infraestructura, instalaciones o equipos destinados a la producción, transmisión, distribución, almacenamiento o provisión de saneamiento, electricidad, o gas (se configura cuando mediante la conducta se crea un peligro para la seguridad común).  (continúa en la siguiente página)			

Entorpecimiento al funcionamiento de servicios públicos (se tipifica el delito cuando sin crear una situación de peligro para la seguridad común se impida o entorpezca el normal funcionamiento de los servicios públicos de provisión de electricidad, hidrocarburos y sustancias energéticas similares.

#### Venezuela

Daños a los medios empleados para la transmisión de energía eléctrica o de gas (incluye la interrupción de su suministro).

Daño a los oleoductos, gasoductos, obras, aparatos, tuberías u otros medios empleados para prestación de servicios públicos (el delito se configura de igual manera sean los bienes de propiedad privada o pública).

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la comparación de los códigos penales vigentes (a la fecha de realización de la investigación) en los Países Miembros de OLADE.

#### e) Delitos contra la seguridad del Estado

En este caso se protegen como bienes jurídicos la paz y la soberanía nacional. Los delitos contra la seguridad del Estado están dirigidos a evitar agresiones y amenazas al poder público político. Esta protección se extiende a todos los ámbitos estatales o sociales que pudieran ser objeto de peligro incluyéndose entre estos los recursos estratégicos y por ende la energía o los servicios que de esta se derivan. La seguridad interna está estrechamente relacionada con la integridad política y territorial del estado.

Comprende, la salvaguardia del Estado ante agresiones tanto internas como externas, así como el resguardo de todos los elementos requeridos para garantizar la paz y estabilidad social a su población. La energía representa un papel crucial para la seguridad del estado dado por su carácter de recurso estratégico para el desarrollo socioproductivo.

A continuación, algunos ejemplos de la tipificación de delitos vinculados a la energía en los que el objeto de protección recae en la seguridad estatal:

Un estado que subsidia determinados servicios o productos energéticos, los comercializa a un precio considerablemente inferior al establecido en el mercado internacional, en este caso es necesario establecer férreas medidas de control para evitar el contrabando en zonas de frontera.

Tabla 5. Tipificación de delitos vinculados a la energía en los que el objeto de protección recae en la seguridad estatal

Cuba	Sabotaje contra fuentes energéticas (implica el propósito de impedir su normal uso y funcionamiento).	
Ecuador	Destruir, deteriorar, inutilizar, interrumpir o paralizar servicios públicos o instalaciones públicas o privadas de energía eléctrica o gas.	
México	Dañar, destruir o entorpecer servicios públicos, plantas eléctricas con el fin de trastorn la vida económica del país o afectar su capacidad de defensa.	
Paraguay	Sabotaje contra instalaciones de suministro público de energía (implica intencionalidad para apoyar esfuerzos contra el orden estatal o su seguridad).	

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de la comparación de los códigos penales vigentes (a la fecha de realización de la investigación) en los Países Miembros de OLADE.

#### 2.3 Subsectores que se abarcan en la tipificación de delitos energéticos

En el análisis contenido en el presente artículo se evidencia que la mayor parte de los delitos energéticos tipificados en los códigos penales de los Países Miembros de OLADE están enfocados en los subsectores de hidrocarburos, electricidad y energía nuclear, aunque en la mayoría de los casos estos se agrupan indistintamente en uno u otro capítulo sin establecerse una diferenciación organizacional de la materia en cuestión. En otros casos se encuentran las conductas prohibidas ubicadas en las leyes específicas de cada subsector haciendo un reenvío a delitos comunes establecidos en las leyes penales.

#### a) Subsector electricidad

La irrupción de la electricidad en el entorno jurídico ha provocado interesantes debates en relación a su naturaleza como bien o servicio, como bien corporal o incorporal, mueble o inmueble y adicionalmente en el campo penal también se polemizó en relación a si su sustracción o utilización ilegal constituía un delito de hurto, estafa, de daños, defraudación,

etc. (España lo tipifica como defraudación de uso de electricidad).

Es importante reflexionar al respecto analizando la tipificación acorde a esta delito tomando en cuenta que no constituye un hurto propiamente dicho ya que este delito es específico para la sustracción de bienes muebles, el mismo discernimiento aplica para afirmar que por ende tampoco configura un robo toda vez que el robo no es más que un hurto calificado mediante la fuerza en las cosas o en las personas.

No obstante, es importante destacar que existen corrientes doctrinarias que consideran a la electricidad como un bien corporal mueble argumentando que se trata de una cosa perceptible por nuestros sentidos que puede aislarse, recogerse y almacenarse, medirse, transportarse y transformarse.

Tomando en cuenta que la energía eléctrica se consume de manera inmediata, no resulta procedente concebirla como un bien mueble, ya que las regulaciones establecidas al respecto le resultarían de difícil aplicación, por ejemplo, no podría aplicarse una acción posesoria a la energía que ya ha sido consumida. Esta cuestión ya está siendo superada en algunas legislaciones a nivel mundial en las que se reconoce a la energía eléctrica como un fluido y no como un bien mueble, siendo en este caso objeto de defraudación o uso ilegitimo y no de robo o hurto.

Cabe destacar que el ánimo de lucro resulta inherente a los delitos patrimoniales, partiendo de que el lucro se manifiesta mediante cualquier beneficio o ventaja incluso posterior a la obtención del objeto del delito, que favorezca al sujeto activo.

Algunos países tipifican el delito como aprovechamiento fraudulento o sustracción de energía, es importante distinguir la diferencia en entre estas dos categorías delictivas:

La hipótesis punible para el caso del aprovechamiento fraudulento, defraudación fraudulenta o utilización fraudulenta abusiva de energía, implica que el uso de la electricidad se realice antes de que el consumo conste en el contador, se evade que esta pase por el aparato medidor o se altera el funcionamiento del equipo para que marque un consumo de electricidad inferior al efectuado. En este caso el delito se configura con el ánimo de lucro, se recibe un servicio que no se paga, existe un perjuicio contra el patrimonio de un ente que bien puede ser público o privado según el caso, hay una intención clara y evidente de la conducta en la que se está incurriendo. En este caso el perjuicio patrimonial es para el comercializador.

Para el caso de la sustracción de energía eléctrica se requiere la existencia de una conexión ilegal, consumiéndose ilegalmente la energía eléctrica ajena a través de una adulteración de las líneas. En este caso el perjudicado es un consumidor que bien puede ser una persona natural o jurídica. De igual manera, se evidencia el ánimo de lucro y el perjuicio patrimonial.

Ambas alteraciones aplican tanto para alumbrado como para fuerza motriz. Todas estas acciones fraudulentas se categorizan como pérdidas no técnicas tanto para generación como en la distribución de energía.

En países donde el gobierno controla los activos de generación y distribución de energía, el fraude impacta negativamente en los fondos que se pueden destinar a invertir en nueva generación o meiora de la infraestructura eléctrica existente. Las pérdidas en estos mercados se compensan con otros fondos públicos. Por eso, en algunos de estos mercados la prioridad no es combatir el fraude pues otras prioridades, como el suministro de energía en sí, ocupan la mayor parte de los recursos de algunos proveedores. En mercados donde la generación y la distribución están en manos privadas, el fraude provoca que algunas distribuidoras estén cerca de la quiebra, simplemente dejen de pagar por la generación, o no presten el servicio en determinados momentos. Por ejemplo, en Nicaragua, Unión Fenosa es la empresa propietaria de las dos distribuidoras del país. Esta empresa asegura perder unos 30 millones de dólares anuales debido al fraude.5 Muchos gobiernos opinan que la solución para las pérdidas no técnicas no está en el endurecimiento de multas y sanciones para los actos fraudulentos de uso de electricidad, sino en ampliar la cobertura eléctrica con inversiones en la infraestructura de distribución.

Por otro lado, en países que reconocen el derecho constitucional de acceso a la electricidad y la obligación del estado a garantizar este servicio domiciliario y productivo de manera obligatoria, ininterrumpida y con calidad surge un conflicto jurídico de difícil solución ya que muchos se cuestionan si esta apropiación indebida de un servicio podría ser condenable cuando surge de un incumplimiento estatal refrendado en la

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Administración. (2007). El flagelo del fraude de energía en Centro América. 6 de abril de 2017, de Afinidad Eléctrica Sitio web: http://www.afinidadelectrica.com/articulo.php? IdArticulo=40

constitución contra el que se podría interponer una acción de amparo constitucional. Aun cuando este análisis no justifica el uso abusivo o defraudación fraudulenta para el acceso ilícito a un servicio público, plantea la duda de la incapacidad del estado ante el cumplimiento de una obligación constitucional.

# Algunos países tipifican el delito como aprovechamiento fraudulento o sustracción de energía, es importante distinguir la diferencia entre estas dos categorías delictivas.

Las acciones u omisiones fraudulentas contra fluido eléctrico presentan el diferentes manifestaciones que van desde la alteración de los contadores para la reducción de facturas, hasta conexiones ilícitas del tendido eléctrico. La solución implica a más de medidas legislativas fuertes contra los sujetos activos de los delitos energéticos, la inversión en infraestructura, diversificación de la matriz energética y el uso de nuevas tecnologías, que permitan aumentar la cobertura eléctrica para la satisfacción de este servicio básico.

Este tipo de conductas fraudulentas impactan directamente el servicio perjudicando a quienes pagan, bien en forma de apagones o a través de aumentos en la factura, ya que las comercializadoras de alguna forma deben compensar las pérdidas.

Por ejemplo en República Dominicana, la Ley General de Electricidad, contempla penas de cárcel y duras sanciones para los fraudulentos; sin embargo, no se ha dado la inclusión de esta conducta delictiva en el Código Penal.

Esta tipificación, es quizá la más común en los códigos penales de la región aun cuando se utilicen diferentes nombres; este tipo de conducta está penada en una parte importante de los Países Miembros de OLADE y en todos los casos se encuentran incluidos en el título dedicado a los delitos contra la propiedad o el patrimonio.

#### b) Subsector hidrocarburos

La importancia de los hidrocarburos desde el punto de vista económico y geopolítico es fundamental para el desarrollo nacional, regional e internacional. El sector industrial se mueve y progresa a base de combustibles, de ahí la gran influencia que tienen las fluctuaciones del precio del petróleo en la economía global. Para los países exportadores de petróleo y derivados, este recurso representa una importante fuente de obtención de divisas a más de constituir una fuente importante de obtención de recursos fiscales tanto para el gobierno central como para los gobiernos locales independientemente de que se empleen modalidades contractuales de asociación o de concesión. Por su parte, los países importadores de hidrocarburos se esfuerzan en buscar la forma más conveniente de adquirir estos productos para satisfacer su demanda interna. En ambos casos, el Estado tiene la misión de lograr que los servicios y productos hidrocarburíferos sean asequibles tanto al sector industrial, transporte y al residencial.

Al constituir los hidrocarburos recursos naturales no renovables que representan un porcentaje importante en las matrices energéticas a nivel mundial, la posibilidad de su agotamiento constituye una preocupación latente en toda la humanidad más aún cuando el ritmo de consumo aumenta de forma considerable.

Esto explica que todas las naciones a nivel mundial otorguen una especial protección a este subsector considerándolo como estratégico para su desarrollo y soberanía energética.

Dada la importancia de los servicios y productos energéticos que dependen de este sector, gran cantidad de subsidios están dirigidos a lograr que tanto el sector productivo como la población en general puedan acceder a sus beneficios, por ende, la gran mayoría de los gobiernos de la región latinoamericana y caribeña invierten millonarias cifras en subvencionar estos recursos.

Los antecedentes expuestos explican que gran parte de los delitos energéticos que tipifican conductas relacionadas con el subsector hidrocarburos estén dirigidos a proteger la soberanía estatal en cuanto a la propiedad de los recursos y el carácter estratégico de estos, la imagen estatal en lo que respecta a la fe pública, el orden socioeconómico y el adecuado acceso a los subsidios entre otros bienes jurídicos relacionados con este subsector.

Con los antecedentes expuestos cabe destacar que os delitos energéticos relacionados con el subsector hidrocarburos abarcan todos los bienes jurídicos protegidos en el sector energía desde el patrimonio y el orden socioeconómico hasta la seguridad estatal, la seguridad colectiva y la fe pública.

#### c) Subsector nuclear

En el caso específico de los delitos relacionados con la energía nuclear es evidente una tendencia hacia la protección de la seguridad colectiva, dado el comprobado peligro que representa un inadecuado manejo de los recursos nucleares y sus procesos de industrialización.

También se manifiesta en el análisis de la legislación vinculado a este sector, en los países latinoamericanos y caribeños la firme posición de no convertirse en destino de los desechos nucleares de los países desarrollados.

#### 3. CONCLUSIONES Y PROPUESTA

El Derecho como sistema normativo de la conducta social constituye un elemento esencial para la existencia del estado conjuntamente con la población, el territorio y el poder público político. Por su parte el Derecho Penal garantiza el poder coercitivo del estado extendiendo su extraterritorialidad a sus ciudadanos donde quiera que se encuentren y sobre los extranjeros que cometan delitos en su territorio. Una sanción penal bien orientada procura lograr la prevención general de la conducta prohibida y la reinserción

del implicado a la sociedad. La aplicación de una pena funciona ante el resto de la población como una compulsión psicológica, desincentivando a potenciales delincuentes a incurrir en acciones u omisiones socialmente peligrosas y punibles. Por otro lado la sanción contribuye a consolidar una conciencia colectiva de respeto a la legalidad.

En el caso específico de la energía como bien jurídico la tipificación de los delitos energéticos en la ley penal debe estar dirigida a precautelar sus fuentes así como la infraestructura necesaria para generarla.

Adicionalmente se deben promover a través de la ley penal la cabal observancia de los derechos y deberes de los ciudadanos y del estado en relación a la energía y las actividades que de su aprovechamiento se deriven.

Con estas premisas y partiendo del análisis realizado se estructura la siguiente propuesta de organización y tipificación de delitos energéticos procurando que resulte de utilidad como medio de consulta para la protección de la energía como bien jurídico susceptible de afectación con implicaciones penales.

La tipificación
de los delitos
energéticos en la ley
penal debe estar
dirigida a precautelar
sus fuentes, así
como la
infraestructura
necesaria para
generarla.

Tabla 6. Propuesta de organización y tipificación de delitos energéticos para la protección de la energía como bien jurídico susceptible de afectación con implicaciones penales

Delitos contra la propiedad		
<b>DELITO</b> Apropiación ilegal de fluidos energéticos y combustibles.	TIPIFICACIÓN  Implica el acceso ilícito referido tanto a servicios de electricidad o gas natural como a productos tales como los combustibles. El término adecuado es apropiación no aplicando así ni el robo ni el hurto.	
Defraudación en el uso de fluidos energéticos y combustibles.	Se tipifica cuando se incumple un deber relacionado con el uso y disfrute de los fluidos energéticos o cuando se abusa de la confianza, perjudicando derechos de terceros. La defraudación puede ser fiscal, cuando no se cumplen las disposiciones tributarias con respecto al pago de servicios o productos energéticos, puede ser económica, aduanera, etc. en este último caso se tipificaría el delito de contrabando.	
Receptación de elementos empleados para la producción o suministro de fluidos energéticos y combustibles.	Se tipifica con el ocultamiento o encubrimiento de bienes utilizados para la perpetuación de un delito energético. Se trata de un delito subsidiario ya depende de la perpetuación de un delito principal.	
Sustracción o alteración de sistemas de medición, control, o identificación de tipo o procedencia de hidrocarburos, derivados y biocombustibles.	Implica cualquier acción u omisión que de alguna manera altere el adecuado proceso de medición, control o identificación de la procedencia de hidrocarburos y biocombustibles ya sea mediante el robo, hurto, daño o modificación del mecanismo de los equipos destinados a tales efectos.	

Delitos contra el orden socioeconómico		
<b>DELITO</b> Contrabando de hidrocarburos, derivados y biocombustibles	TIPIFICACIÓN  Se tipifica con el ingreso clandestino de hidrocarburos, derivados y biocombustibles, a otro país vulnerando controles, permisos y derechos aduaneros con los que se incurre además en el delito de defraudación aduanera.	
Sustracción o desvío de hidrocarburos y derivados que circulan por oleoductos, gasoductos o poliductos	Constituye una tipificación especial para proteger a los hidrocarburos y derivados que se transportan vía ductos y se tipifica con cualquier alteración del ciclo de este proceso con fines de apoderamiento y desvío de estos recursos.  (continúa en la siguiente página)	

Delitos contra el orden socioeconómico		
<b>DELITO</b> Sustracción o alteración de sistemas de medición, control, o identificación de tipo o procedencia de hidrocarburos, derivados y biocombustibles	TIPIFICACIÓN  La reseña de tipificación consta en el cuadro de delitos contra el patrimonio se repite aquí ya que se puede considerar también un delito contra el orden socioeconómico dependiendo del móvil del actor y de las consecuencias de su perpetuación.	
Uso indebido y/o inadecuado de hidrocarburos, derivados y biocombustibles	Implica la utilización de sustancias y servicios energéticos para usos ilegales y distintos de los normales y acostumbrados como es el caso de utilización de combustibles para el procesamiento de narcóticos.	
Violación de fronteras para el aprovechamiento o explotación ilegal de recursos energéticos	Implica la violación de la soberanía nacional para realizar actividades de exploración y explotación de recursos energéticos sin las debidas autorizaciones. Algunos países lo tipifican como delito contra la seguridad del estado tomando en cuenta que se atenta contra recursos estratégicos.	
Fraude en expendio de hidrocarburos, derivados y biocombustibles (alteración del precio o sus componentes) (Fraudes al comercio y a la industria energética).	Se tipifica con cualquier alteración en la composición, calidad o cantidad de hidrocarburos y derivados expedidos en establecimientos privados ya que de realizarse la acción u omisión en expendios estatales se tipifica un delito contra la fe pública. terizas o puertos con el fin de facilitar el contrabando.	
Adquisición fraudulenta de subvenciones para productos o servicios energéticos	Se tipifica cuando una persona natural o jurídica por sí misma o a través de un tercero, incurre en acciones u omisiones dirigidas a favorecerse o favorecer a una tercero de los beneficios de una subvención que no le corresponde, empleando cualquier medio, ya se proporcionando a las autoridades competentes datos y/o información falsa o incompleta en relación a su condición socioeconómica, comercial o de cualquier otra índole relacionada con eventos relacionados con el otorgamiento del subsidio o abusando de sus competencias o de su posición de funcionario de alguna entidad relacionada con el otorgamiento de los beneficios.	
Uso inadecuado de productos o servicios energéticos subsidiados	Implica el uso y aprovechamiento de servicios y productos energéticos subsidiados con fines distintos a los establecidos en la ley. Constituye una agravante al uso inadecuado de energéticos ya que al perpetuarse contra productos y servicios subsidiados se ocasiona un daño económico adicional al estado.	
	(continúa en la siguiente página)	

Delitos contra el orden socioeconómico		
<b>DELITO</b> Contrabando de productos energéticos subsidiados	TIPIFICACIÓN  Se refiere a un contrabando agravado por el hecho de comprometer productos energéticos que cuentan con subsidio estatal, acción con la cual a más de burlar controles y permisos se está creando un perjuicio adicional al estado.	
Manipulación del mercado energético	Incurre en este delito quien lleve a cabo acciones u omisiones encaminadas a desestabilizar el adecuado funcionamiento del mercado energético mediante acciones tales como el retiro de materias primas, productos o servicios de primera necesidad con el fin de desabastecer un determinado subsector a fines de forzar una alteración de precios, generar perjuicios económicos al estado, afectar desde el punto de vista comercial a determinados sectores económicos, sociales, políticos o comerciales, generar situaciones de caos, etc. Las pena deben agravarse si el hecho se perpetúa en situaciones catastróficas o de escasez.	
Paralización injustificada de expendio de combustibles	Incurre en este delito quien suspenda de manera arbitraria e infundada el servicio de expendio o distribución de combustibles, tales como gasolinas, diésel, gas licuado y demás productos derivados del petróleo o biocombustibles como el etanol. Sin perjuicio de que con esta acción se tipifiquen otros delitos mayores.	
Tráfico ilegal de productos energéticos	Incurre en esta conducta quien a través de medios fraudulentos o clandestinos comercialice, adjudique o distribuya, en el territorio nacional, hidrocarburos, derivados o biocombustibles. La sanción debe agravarse cuando el hecho se realice en áreas fronterizas o puertos con el fin de facilitar el contrabando.	
Delitos contra la seguridad pública		

# DELITO Daños contra infraestructura de servicios públicos (gas, electricidad, combustible) TIPIFICACIÓN Implica daños severos en infraestructura de servicios públicos energéticos por conducta culposa o negligente ya que de darse el dolo se tipifica el delito de sabotaje. (continúa en la siguiente página)

Delitos co	ntra la seguridad pública
<b>DELITO</b> Incendio contra pozos petrolíferos	TIPIFICACIÓN  Comprende de manera expresa el delito especial contra pozos petrolíferos aun cuando de comprobarse el dolo se estaría incurriendo además en delito de sabotaje.
Introducción de residuos nucleares	Se refiere a la introducción ilegal en territorio nacional, de residuos provenientes de actividades nucleares realizadas en el extranjero.
Perturbación de instalación nuclear	Se tipifica con cualquier acción de perturbación del adecuado funcionamiento de una instalación nuclear o radiactiva, o la alteración de actividades en las que se empleen materiales o equipos productores de radiaciones ionizantes, generando una situación peligrosa para la vida o la salud de las personas. La sanción debe incluir inhabilitación del cargo. El dolo constituirá una agravante
Apropiación, tráfico, transporte y posesión de sustancias nucleares	Implica la sustracción de materiales nucleares o elementos radioactivos, aun cuando el móvil no sea el ánimo de lucro. La pena debe extenderse a quienes sin la debida autorización faciliten la perpetuación del delito mediante la recepción, transporte, almacenamiento o utilización de estos materiales o sus desechos. Aplican las agravantes de fuerza en las cosas o en las personas y la inhabilitación de cargos para funcionarios del sector nuclear.
Entorpecimiento de servicios públicos energéticos	Se aplica a quien sin generar una situación de peligro común incurra en acción u omisión culposa o dolosa que de alguna manera impida, obstaculice o interfiera en el normal funcionamiento de los servicios energéticos a cargo del estado.
Operación de centrales nucleares sin la debida autorización y medidas de seguridad	Se tipifica con la puesta en marcha, operación o retiro de centrales nucleares sin los permisos y autorizaciones previstos en la ley, así como con faltas graves al estricto cumplimiento de las medidas de seguridad radiológica, nuclear y de protección personas, bienes e instalaciones, sustancias y desechos. La sanción debe contener además la clausura preventiva de la instalación.
	(continúa en la siguiente página)

Delitos contra la seguridad pública		
<b>DELITO</b> Liberación de energía poniendo en peligro la vida, salud o bienes de las personas	TIPIFICACIÓN  Incurre en este delito la persona natural que de manera culposa o dolosa libere energía nuclear o elementos radiactivos poniendo en peligro la vida o la salud de las personas o sus bienes. El delito se tipifica aun cuando no se llegue a generar una explosión. En la sanción debe incluirse la inhabilitación para cargos en centrales nucleares. La pena debe agravarse de comprobarse dolo.	
Violación a medidas de seguridad en infraestructura involucrada en la cadena energética	Implica cualquier incumplimiento, desacato o vulneración de las medidas de seguridad legalmente establecidas en las instalaciones empleadas para las actividades de la cadena energética.	
Delitos con	tra la seguridad del estado	
DELITO  Sabotaje contra fuentes energéticas o instalaciones de servicios energéticos (públicos o privados)  Sabotaje contra sitios de almacenamiento de productos energéticos para reserva militar	TIPIFICACIÓN  Se refiere a la acción u omisión dolosa que crea daños en los recursos estratégicos de un estado o en sus instalaciones de servicios energéticos, con el objetivo de infundir terror en la población y/o crear un caos que desestabilice el ejercicio del poder público político.  Se conoce también como sabotaje de resistencia, ocurre generalmente en tiempos de guerra, cuando la insurgencia atenta contra instalaciones militares, con el fin de privar a sus enemigos de servicios o reservas fundamentales para mantener el control de la nación.	
Delitos	s contra la fe pública	
<b>DELITO</b> Falsificación o uso indebido de logos, sellos, nombre, firmas y cualquier identificación estatal empleada para la distribución de productos y servicios energéticos	TIPIFICACIÓN  Incurre en esta conducta quien altere o de un uso distinto del establecido a cualquier imagen, nombre, logo u otra forma gráfica, auditiva o de cualquier otra índole, aprobada y utilizada por el estado para la comercialización, transporte y distribución de productos y servicios energéticos.	
Alteración de la calidad, cantidad o componentes de productos energéticos	Se tipifica con la adulteración de las características químicas, los estándares de calidad o la cantidad expedida	

(continúa en la siguiente página)

a los consumidores de energéticos de distribución estatal.

Implica la alteración ilegal del precio oficial establecido

por el estado para la distribución de energéticos.

distribuidos por el estado

Alteración del precio de productos

energéticos distribuidos por el estado

Delitos	contra	la fe pública	
<b>DELITO</b> Falsificación en etiquetado de eficiencia energética	etique creand	TIPIFICACIÓN ste en alterar la información que consta en las etas de eficiencia energética de ciertos bienes, do falsas expectativas en el consumidor sobre los s de consumo energético.	
BIBLIOGRAFÍA		Código Penal de Cuba, Ley 62 de 1987	
Alessandri R., Arturo y otros. (1999).Tratado de derecho civil Partes preliminar y general Tomo II. Santiago de Chile:		Código Penal de Ecuador, codificación s/n de 1971	
Editorial Jurídica de Chile.		Código Penal de El Salvador, Decreto 1030 de 1997	
Couture, Eduardo J. (1947).El concepto de la Fe Pública. Montevideo: Biblioteca de publicaciones oficiales de la facultad de derecho y ciencias sociales de la Universidad de Montevideo primera edición.		Código Penal de Grenada, 1987	
		Código Penal de Guatemala, Decreto del Congreso 17-73 de 1973	
Moreno Rodríguez, Rodrigo. (1980).La Administración Pública Federal en México Primera Edición. México: UNAM (Dirección General de Publicaciones).		Código Penal de Guyana s/n	
		Código Penal de Haití, publicado en 1836	
Códigos penales vigentes (a la fecha de realización de la investigación) en los Países Miembros de OLADE.		Código Penal de Honduras, Decreto 144-83 vigente a partir del 12 de marzo de 1985	
Código Penal de la Nación Argentina, Ley 11.179 de 1984		Código Penal de Jamaica, 1963	
Delitos energéticos Belize, Ley de electricidad de 2000 (capítulo 221 de las leyes de Belize); Ley y reglamentos de		Código Penal Federal de los Estados Unidos Mexicanos, 1931	
Petróleo de 2000 (capítulo 223 y 255 de las leyes de Reglamento de evaluación de Impacto Ambiental de	Belize);	Código Penal de Nicaragua, Ley 641 de 2008	
(capítulo 328 de las leyes de Belize).		Código Penal de Panamá, Ley 14 de 2007 (texto único)	
Código Penal Barbados s/n		Código Penal de Paraguay, Ley 1.160 de 1997	
Código Penal del Estado Plurinacional de Bolivia, Ley de 1971	y 10426	Código Penal de Perú, Decreto Legislativo 635 de 1991	
Código Penal de Brasil, Decreto Ley No. 2848 de 194	-0	Código Penal de Suriname, 1910	
Código Penal de Chile, No. 18742 de 1874		Código Penal de la República Dominicana, Ley 550 de 2014	
		Código Penal de Trinidad & Tobago, 1925	
Código Penal Colombiano, Ley 599 de 2000		Código Penal de Uruguay, Ley 9155 de 1934	

Código Penal de la República Bolivariana de Venezuela, 2000

Código Penal de Costa Rica, Ley 4573 de 1970

# ANÁLISIS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO DEL ECUADOR

Verónica Guayanlema<sup>1</sup>, Luis Fernández<sup>2</sup>, Karla Arias<sup>3</sup>

Recibido: 27/sep/2017 y Aceptado: 26/oct/2017 ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (121-139).



- <sup>1</sup> Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Master en Energías Renovables y Sostenibilidad Energética, Investigadora. veronica.guayanlema@iner.gob.ec
- <sup>2</sup> Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Ingeniero mecánico, analista técnico. luis.fernandez@iner.gob.ec
- <sup>3</sup> Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Master en Ambiente, Economía y Política. michell.arias.marin@gmail.com



#### **RESUMEN**

Ecuador ha implementado varias acciones en el sector energético, por lo que es necesario medir su desempeño aplicando indicadores. El objetivo de este artículo consistió en determinar la evolución y el impacto de acciones realizadas en los últimos 15 años.

En este artículo se presenta la metodología para determinar los principales indicadores energéticos. En base a la disponibilidad de información, se seleccionó los indicadores más representativos y factibles para evaluar el desempeño energético del país para el período 2000-2015. Una vez obtenidos los resultados de las series históricas se analizó su tendencia y se comparó con los países de América del Sur. Finalmente se identificó posibles líneas de acción para mejorar el desarrollo energético.

La principal conclusión, muestra mejoras en la evolución de los indicadores de la oferta de energía, como consecuencia de inversión en proyectos de generación hidroeléctrica. En la actualidad, la matriz eléctrica cuenta con cerca del 50% de energía hidráulica, mejorando la calidad y cantidad de electricidad. En el caso de la demanda de energía es necesario enfocarse en programas de eficiencia energética para mejorar los indicadores que hasta el momento han permanecido constantes.

**Palabras Claves:** Indicadores Energéticos, Desarrollo Sostenible, Ecuador, Desempeño Energético

#### **ABSTRACT**

Ecuador has implemented several actions in the energy sector; for this reason, is necessary to quantify the performance of these actions using indicators. The aim of this paper was to determinate the evolution and impact of the actions implemented. For this purpose, standard energy indicators were calculated and compared with other countries, in addition, there were identified strategies to achieve sustainable development.

This paper shows the methodology to determinate the main energy indicators. The main and feasible indicators were chosen according with available information for 2000 to 2015 period. With the results of historical data, the energy indicators were compared with South America countries. Finally, actions projects were identified in order to improve the energy development.

The main conclusion shows improvements in the evolution of indicators, due to the enhancement of energy supply. The electrical matrix has 50% of hydraulic energy, increasing electricity supply in quality and quantity. It is important to consider that focusing on energy efficiency program will allow improving these indicators.

**Keywords:** Energy Indicators, Sustainable Development, Ecuador, Energy Performance, Ecuador

En el Ecuador el petróleo es la principal fuente de energía primaria. En el 2015, las exportaciones representaron un 74% (198.230 kbbl).

#### 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sustentable fue definido por la Comisión Brundtland en 1987 como aquel desarrollo económico que satisface las necesidades del presente sin comprometer los recursos de las futuras generaciones (WCED, 1987). Esta definición se formuló ante la preocupación del crecimiento económico que con llevó un uso desmedido de recursos, principalmente energía. Como consecuencia los índices de contaminación en todo el mundo han incrementado, ocasionando impactos negativos para el ambiente y la salud de la población (Ben Abdallah, Belloumi, & De Wolf, 2013).

En este marco, varios autores (Kates, Parris, & Leiserowitz, 2005; Mainali, Pachauri, Rao, & Silveira, 2014; Nicolli & Vona, 2012; Schlör, Fischer, & Hake, 2013; Streimikiene, Ciegis, & Grundey, 2007; Vera & Langlois, 2007) consideran la importancia de medir la evolución de los sistemas energético. Para conocer el diagnóstico interacciones, transferencias. sistema. dimensiones del desarrollo sustentable y la implicación de decisiones a largo plazo se utilizan indicadores (Vera & Langlois, 2007). En la actualidad, se cuenta con guías metodológicas las cuales relacionan aspectos sociales, económicos, políticos y medioambientales que ayudan a estimar el desempeño energético utilizando indicadores (Streimikiene et al., 2007).

En el caso de la Región de América Latina son pocos los estudios de metodologías para estimación de indicadores energéticos. Por ejemplo, en el caso de México, un estudio evaluó el sector energético durante el periodo de 1990 y 2008, utilizando la metodología desarrollada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (Sheinbaum-Pardo, Ruiz-Mendoza, & Rodríguez-Padilla, 2012), la cual relaciona los siguientes aspectos:

• Riesgo, vulnerabilidad y restricciones para el desarrollo socioeconómico

- Sesgos inequitativos en el abastecimiento para el desarrollo socioeconómico
- Efectos externos sobre el medio ambiente (CEPAL, 2002).

Los indicadores propuestos en la metodología de CEPAL son una selección de aplicaciones a nivel mundial y en América Latina y están basados en el desarrollo económico principalmente (CEPAL; OLADE-GTZ, 2003). El contar con un banco de indicadores permite evaluar la situación del sistema energético de un país por esta cuestión se vio la importancia de considerar a Ecuador dentro de las características de un economía en desarrollo con un desarrollo alto en su matriz de energía.

Ecuador ha experimentado un constante cambio a nivel de generación de energía eléctrica. Con el fin de abastecer la demanda y cobertura de energía ha incrementado su generación a una tasa medio anual de 5,75% en el período de 2005 al 2015 (MICSE, 2015a). La potencia instalada en 2016 ha incrementado en un 84% para el caso de la hidroenergía en comparación a 2015 (MICSE, 2016). Lo que indica en términos generales un incremento del 37% del total de potencia efectiva del país. En cuanto a la generación de electricidad con energía hidráulica en el 2015 ha llegado a ser del 49%, por lo se evidencia un crecimiento de esta fuente de energía limpia (MICSE, 2015a).

Con este antecedente, se identificó la necesidad de determinarel impacto de los cambios en esta matriz energética y cómo han afectado la generación y oferta de electricidad en el país (SENPLADES, 2013). A la vez, la determinación de indicadores permitirá evaluar los objetivos de la planificación de un país, una región o una ciudad.

La sistematización de la información energética depende de la disponibilidad de información (Hook, Janouska, & Moldan, 2016). En este estudio se calculó los indicadores energéticos que se ajusten al sistema energético ecuatoriano utilizando la metodología propuesta por CEPAL.

El artículo se divide en cuatro secciones. En la primera sección se presenta la información que se refleja en los indicadores de eficiencia energética, en la segunda sección la metodología para su estimación, las dos últimas secciones presentan los resultados y las conclusiones con un análisis de los resultados obtenidos al comparar la evolución de indicadores en los años 2000-2015.

#### 2. POLÍTICA ENERGÉTICA ECUATORIANA

#### 2.1 Planificación energética ecuatoriana

El desarrollo del Ecuador se ha basado en los objetivos de desarrollo sostenible que se detallan en el plan nacional de desarrollo conocido como Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 (PNBV). Este instrumento de política pública cuenta con doce objetivos estratégicos, el sector energético se alinea a los siguientes:

- **Objetivo 2:** Auspiciar la igualdad, cohesión e integración social y territorial en la diversidad
- **Objetivos 3:** Mejorar la calidad de vida de la población
- **Objetivo 7:** Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.
- **Objetivo 10:** Impulsar la transformación de la matriz productiva
- **Objetivo 11:** Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos par a la transformación industrial y tecnológica (SENPLADES, 2013).

En el país, la planificación energética y el levantamiento de información estadística no han formado parte de líneas estratégicas de desarrollo durante varios años. Ante la falta de estudios, en el año 2013 se inició la elaboración de Balances Energéticos y en 2014 se difunde el Catálogo de Inversiones de los Sectores Estratégicos 2015-2017, el cual considera las oportunidades de inversión, alianzas estratégicas

y otras modalidades de contratación (públicas y/o privadas)por más de 28.745 millones de dólares (Tabla 1) (MICSE, 2015b). Así también, en el 2016, se publicó la Agenda Energética en la cual se establecen políticas de Estado con horizonte de largo plazo y se constituye una hoja de ruta para la articulación integral de los sectores eléctrico e

hidrocarburífero bajo una planificación integral (MICSE, 2016a).

Estos instrumentos han permitido una planificación del sector energético, sin embargo, en términos de indicadores, aún no se ha profundizado su análisis.

Tabla 1. Proyectos de inversión para el cambio de la matriz energética y productiva

Área	Proyectos	Monto de inversión (MMUSD)
Industrias Básicas (Aluminio, cobre)	2	3.910
Minería (Exploración)	44	133
Petroleros (Exploración y desarrollo)	21	17.034
Bioenergéticos (bioetanol)	2	1.155
Eléctrico (hidroeléctrciso , geotérmincos)	13	5.786
Hídricos (rehabilitación integral, riego y consu	ımo) 3	727
TOTAL	85	28.745

Fuente: Elaborado por los autores en base a Catalogo de Inversiones de los sectores Estratégicos (MICSE, 2015b).

# 2.2 Situación actual del sector energético ecuatoriano

En el Ecuador el petróleo es la principal fuente de energía primaria, en el 2015, las exportaciones representaron un 74% (198.230 kbbl) (MICSE, 2016). Mientras que, en términos de oferta de derivados la limitada capacidad de refinación, ha generado la necesidad de importar grandes volúmenes de derivados, lo cual representa un alto costo para el país, para atender a subsidios en su comercialización.

Respecto a la oferta de electricidad (Figura 1, en la siguiente página), la generación con hidroenergía incrementó 49% (13.096 GWh), y la energía térmica redujo 2% respecto al 2014, representando un 47% (11.458 GWh). Cabe destacar que muchos proyectos renovables, ya se

han instalado generando 512 GWh, es decir, cerca 100 GWh más que el 2014 (MICSE, 2016).

Para el caso de la demanda (Figura 2, en la siguiente página) para 2015, el transporte consumió el 46%, la industria un 19% y la construcción un 11%, del total de la energía, siendo estos los principales (MICSE, 2016). Estas tendencias resaltan la importancia del sector transporte, ya que a la vez, en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), el transporte en el Ecuador en el 2010 emitió 45% de las emisiones totales (Ministerio del Ambiente, 2016). Esto nos da un primer indicio de la importancia de aplicar medidas de eficiencia energética en el transporte y la industria.

30000 25000 20000 **§** 15000 10000 5000 0 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 Hidráulica Térmica Biomasa Eólica Solar Interconexión

Figura 1. Generación de electricidad, GWh

Fuente: Elaborado por los autores en base al Balance Energético Nacional 2016 (MICSE, 2016)

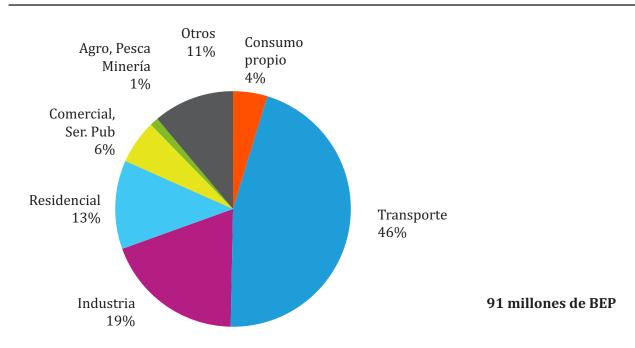


Figura 2. Demanda de Energía por sectores económicos

Fuente: Elaborador por los autores en base al Balance Energético Nacional 2016 (MICSE, 2016)

#### 2.3 Indicadores Energéticos

En la Cumbre Mundial del Desarrollo Sostenible realizada en el 2002 en Johannesburgo, se estableció la formulación de objetivos de desarrollo sostenible; a pesar que antes, en la Cumbre de la Tierra en 1992 ya se reconoció la importancia del rol que juegan los indicadores para la toma de decisiones respecto al desarrollo sustentable (Kemmler & Spreng, 2007).

Por esta razón en el 2005 se elaboró las guías metodológicas "Indicadores para un desarrollo energético sostenible" a cargo de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA). Esta metodología presentó un banco de 30 indicadores ideales para analizar la situación de un país (OECD/IEA, 2014). De estos indicadores CEPAL, ha identificado los más representativos para América Latina. Para la elaboración de este artículo se selección los indicadores que se ajustan al contexto ecuatoriano en bases a la metodología de CEPAL y de la AIEA.

Los indicadores se pueden realizar una comparación entre la situación de diferentes países y permiten realizar estudios sobre la evolución histórica de las diferentes variables energéticas en el Ecuador(CEPAL, 2002).

#### 3. METODOLOGÍA

## 3.1 Indicadores energéticos metodología CEPAL

CEPAL, junto con OLADE y la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) han elaborado un banco de indicadores para la región de América Latina y el Caribe, publicados en el documento "Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe" (CEPAL; OLADE-GTZ, 2003). Este instrumento es una guía metodológica con elementos básicos para identificar y formular políticas energéticas que conduzcan a un desarrollo sustentable. El informe representa ocho indicadores como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Indicadores seleccionados de sustentabilidad energética

Indicador	Alta sustentabilidad se relaciona con:	Responde a objetivos:
Autarquía energética	Baja participación de las importaciones en la oferta energética	<ul> <li>Seguridad del abastecimiento externo</li> <li>Sostenimiento del espacio de maniobra para la política (alto grado de independencia política)</li> <li>Reducción del riesgo de desequilibrio en el balance de pagos</li> </ul>
Robustez frente a cambios externos	Baja contribución de las exportaciones energéticas al PIB	<ul> <li>Flujos estables de ingresos de las exportaciones</li> <li>Menor peso de ingresos variables en el presupuesto</li> <li>Reducción del riesgo de desequilibrio en el balance de pagos</li> </ul>
		(continúa en la siguiente página)

Indicador	Alta sustentabilidad se relaciona con:	Responde a objetivos:	
Productividad energética	Alto PIB por unidad de energía	<ul> <li>Eficiencia productiva y energética</li> <li>Financiamiento suficiente (por reducción de necesidades de inversión)</li> <li>Reducción de costos del suministro energético</li> <li>Abastecimiento suficiente (por menor demanda)</li> <li>Mejor calidad del aire</li> <li>Reducción de emisiones de GEI</li> <li>Extensión de alcance de los recursos no renovables</li> </ul>	
Cobertura eléctrica	Alto porcentaje de hogares electrificados	<ul> <li>Diversidad del mix energético</li> <li>Abastecimiento suficiente</li> <li>Acceso a energéticos modernos y productivos</li> <li>Abastecimiento de servicios sociales</li> </ul>	
Cobertura de necesidades energéticas básica	Suficiente consumo de energía útil residencial	<ul> <li>Satisfacción de necesidades básicas</li> <li>Diversificación del mix energético</li> <li>Manejo sostenible de la leña</li> </ul>	
Pureza relativa del uso de energía	Bajos niveles de emisiones	<ul> <li>Mejor calidad del aire</li> <li>Reducción de emisiones de GEI</li> </ul>	
Uso de energías renovables	Alta participación de energías renovables en la oferta energética	<ul> <li>Mejor calidad del aire</li> <li>Reducción de emisiones de GEI</li> </ul>	
Alcance recursos fósiles y leña	Alto nivel de relación reservas/producción de energéticos fósiles y leña	<ul> <li>Extensión del alcance de recursos al largo plazo</li> <li>Seguridad de suministro a largo plazo</li> <li>Mantenimiento de un mínimo de patrimonio natural</li> </ul>	

Fuente: CEPAL, OLADE, GTZ, 2001

El estudio del caso de México, se adaptó fácilmente a estos indicadores, por la información que se maneja en el sector se logró estimar los ocho indicadores (Sheinbaum-Pardo et al., 2012), lo cual no sucede con Ecuador. Para el contexto ecuatoriano se determinó seis indicadores de los ocho. El indicador de cobertura de necesidades energéticas básicas no se calculó ya que requiere información de consumo de electricidad por

fuente no determinada en el país; igualmente el indicador de alcance de recursos fósiles y leña puesto que los datos oficiales de reservas de petróleo al momento no han sido actualizados.

#### 3.2 Indicadores para Ecuador

El cálculo de indicadores inició con la recopilación de datos energéticos y económicos. El Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE) a través del Balance Energético Nacional proporcionó la información estadística del sector para el periodo 2000-2015. La información de variables económicas se obtuvo en base a las estadísticas macroeconómicas publicadas por el Banco Central del Ecuador (BCE).

Debido a la disponibilidad de información en este artículo se calculó los siguientes indicadores: autarquía energética, robustez frente a cambios externos, productividad energética, cobertura eléctrica, pureza relativa del uso de energía y el uso de energía renovable.

La autarquía energética, se calculó al dividir la importación de energía sobre la producción más las importaciones de energía, como se indica en la ecuación (1). Este indicador demuestra el peso de las importaciones en la matriz energética de un país.

$$EA_i = \frac{IE_i}{OIB_i} \qquad (1)$$

Dónde:

EAi: Autarquía energética en el año i

**IEi:** Importaciones de energía en el año i

OIBi: Oferta interna bruta de energía en el año i

A continuación, se determinó la robustez frente a cambios externos, representa la estabilidad de un país frente a los cambios de precios o problemas de las exportaciones de energéticos. Como indica la ecuación (2), su cálculo resulta de la razón entre las exportaciones de energéticos sobre el Producto Interno Bruto (PIB).

$$ER_i = \frac{EE_i}{PIB_i} \qquad (2)$$

Dónde:

**ERi:** Robustez frente a cambios externos en el año i

**EEi:** Exportaciones de energía en el año i

PIBi: Producto interno Bruto en el año i

La productividad energética es conocida como la inversa del indicador de intensidad energética (Ecuación 3). Este indicador muestra el valor de PIB necesario para generar una unidad de energía. En términos matemáticos el consumo final de energía será la suma entre el consumo final de los sub sectores económicos (residencial, transporte, industria, servicios públicos, agricultura, comercial) más el consumo propio o autoconsumo en el sector energético.

$$EP_i = \frac{PIB_i}{TFC_i} \tag{3}$$

Dónde:

**EPi:** Productividad energética en el año i

PIBi: Producto interno bruto en el año i

**TFCi:** Consumo final total de energía en el año i

El indicador de cobertura eléctrica, representa el porcentaje de hogares totales conectados a la red eléctrica. Se determinó por la relación entre el número de hogares conectados a la red eléctrica sobre el total de hogares de un país. En el caso de Ecuador se utilizó el porcentaje ya calculado por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad (ARCONEL), presentado en sus publicaciones "Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano".

Respecto a la pureza relativa, es la relación entre las emisiones de GEI y el consumo final de energía (ecuación (4). Ecuador cuenta con inventarios de GEI hasta el año 2010, para estimar las emisiones se utilizó el método del TIR 1 de las Guías metodológicas elaboradas por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) 2006.

$$RP_i = \frac{GHGE_i}{EC_i} \qquad (4)$$

Dónde:

**RPi:** Pureza relativa al uso de la energía en el año i

**GHGEi:** Total de emisiones de gases de efecto invernadero en el año i

ECi: Consumo energético en el año i

El uso de energías renovables se calculó utilizando la relación de la oferta de energía renovable con respecto a la oferta total de energía. Lo cual permitió mostrar el porcentaje de la matriz energética del país que utiliza energía renovable (Ecuación (5).

$$RE_i = \frac{ERS_i}{ES_i}$$
 (5)

Dónde:

REi: Uso de energía renovables en el año i

**ERSi**: Oferta de energía renovable en el año i

ESi: Oferta de energía total en el año i

#### 3.3 Normalización de datos

Para establecer una comparación entre indicadores se requiere homogenizar a una

unidad común. De acuerdo a la metodología de CEPAL, 2001, recomienda utilizar normalización lineal con los factores máximos y mínimos que se muestran en la Tabla 3 (en la siguiente página).

Para normalizar los valores obtenidos en los indicadores se utilizó la ecuación (6).

$$z = \frac{x - min(x)}{max(x) - min(x)}$$
 (6)

Las variables min y máx. indican el valor máximo o mínimo que pueden tener estos valores, para ser normalizados.

#### 4. RESULTADOS

El estudio presenta una actualización de indicadores en el Ecuador, los Balance Energéticos ya muestran estos indicadores (MICSE, 2016); sin embargo, el análisis, las implicaciones y la metodología no han sido definidas al momento. A continuación se detallan los resultados obtenidos con la metodología utilizada.

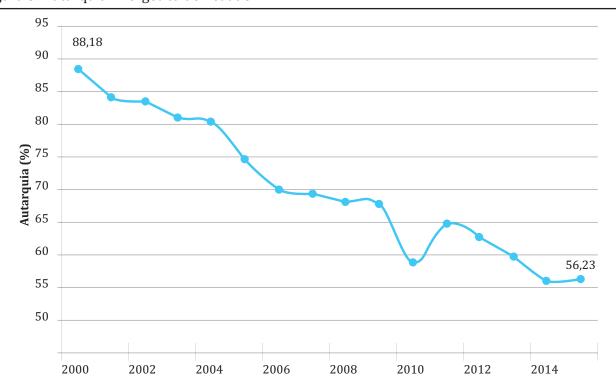
La autarquía energética, llegó a su valor más alto de 88,18% (Figura 3) en el año 2000, lo que refleja una disminución en la capacidad de autoabastecerse de energía, debido al aumento de la demanda, ante un constante crecimiento demográfico y económico. Para el caso de la oferta, la infraestructura para producir derivados se ha mantenido, por lo que, en el año 2015, la autarquía alcanzó 56,23%, lo que significa que las importaciones aumentaron, por los cierres parciales de la Refinería Estatal de Esmeraldas (REE) para su repotenciación en los años 2014-2015. La principal implicación de esta situación es el alto costo que el estado ha cubierto en los subsidios, por ejemplo en el 2013 el gasto de importaciones por derivados (GLP, gasolina y diesel) fue de un total de 5.648,16 millones de dólares (Espinoza & Guayanlema, 2017), conllevando un déficit presupuestario alto.

Tabla 3. Parámetros de Normalización de Indicadores

Indicador	Normalización
Autarquía energética	0 = 100% 1 = 0%
Robustez frente a los cambios externos	0 = 14 bep / 1000 US\$ 1 = 1 bep / 1000 US\$
Productividad energética	0= US\$ / bep 1 = 1000 US\$ / bep
Cobertura eléctrica	0 = 0% 1 = 100%
Pureza relativa del uso de la energía	0 = > = 1,0 t/bep 1 = < = 0,3 t / bep
Uso de energía renovable	0 = 0% 1 = > = 50%

Fuente: CEPAL, 2001

Figura 3. Autarquía Energética de Ecuador



Fuente: Elaborado por los autores

El indicador de robustez, ha incrementado desde 2004 (Figura 4), lo cual indica una reducción en la vulnerabilidad de las exportaciones ante cambios externos. La tendencia creciente de este indicador se debe al crecimiento del PIB comparado con el ingreso por exportaciones energéticas.

Los valores casi constantes de los años 2011, 2012, 2013 son debido a la estabilidad de la relación entre los ingresos por exportaciones y el PIB. Los efectos de las crisis internacionales afectaron al indicador en 2014, como consecuencia de la caída de los precios del petróleo de este año. Un estudio realizado por el World Bank identifica cuatro razones para la caída de los precios del

petróleo: 1) el exceso de oferta en un momento de debilitamiento de la demanda, 2) un cambio en los objetivos de la OPEP, 3) la disminución de las preocupación en torno a las interrupciones de suministro por causas geopolíticas, y 4) la apreciación del dólar estadounidense (World Bank, 2015). Con esta reducción de precios fue necesario incrementar los volúmenes de exportación para equilibrar los ingresos que se preveía.

En 2015, se continúa con un proceso de recesión económica en el cual el indicador incrementa, sin embargo, los volúmenes de exportación disminuyen de la misma forma que lo hace PIB.

0,92 0,91 0,90 0.88 Robustez (valor normalizado) 0,86 0,86 0,84 0,82 0,80 0.78 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012 2014

Figura 4. Indicador de robustez frente a cambios externos para Ecuador

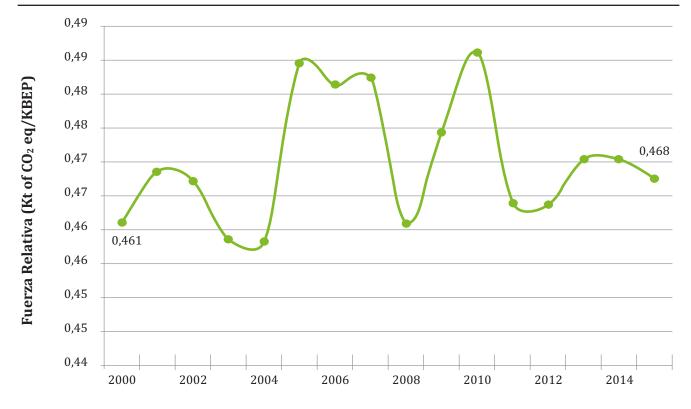
Fuente: Elaborado por los autores

La Figura 5, muestra la evolución de la pureza relativa aluso de la energía, con un comportamiento irregular. En el 2000, se originaron 0,461 kt CO<sub>2</sub>/KBEP, mientras que en 2015 se alcanzó un valor cercano a 0,468 kt CO<sub>2</sub>eq/KBEP. Las emisiones de GEI están directamente relacionadas con el consumo de energía por lo que el indicador es alto para los años de mayor demanda (2005-2007; 2010). Las consecuencias de mantener una tendencia creciente del indicador se traducen en una oportunidad para aplicar medidas de

eficiencia energética, nueva tecnología más limpia, sobre todo atendedor al sector transporte que es el que más consume combustibles fósiles.

Para este indicador se recomienda en próximos trabajos enfocar el análisis separando la parte eléctrica, para estimar el impacto de inversión de los proyectos hidroeléctricos; como, por ejemplo: Coca Codo, Sopladora Mandariacu y otras centrales hidroeléctricas cuya potencia suman cerca de 2.181 MW de potencia instalada.

Figura 5. Pureza relativa al uso de la energía en Ecuador



Fuente: Elaborado por los autores

Respeto a la evolución del uso de energía renovable en la matriz energética del Ecuador se presenta en la Figura 6. La matriz energética del Ecuador se ha diversificado con la puesta en marcha de varios 8 proyectos hídricos<sup>1</sup>, que incrementaron la capacidad instalada del país en 2819 MW, con una generación de 16.200 GWh

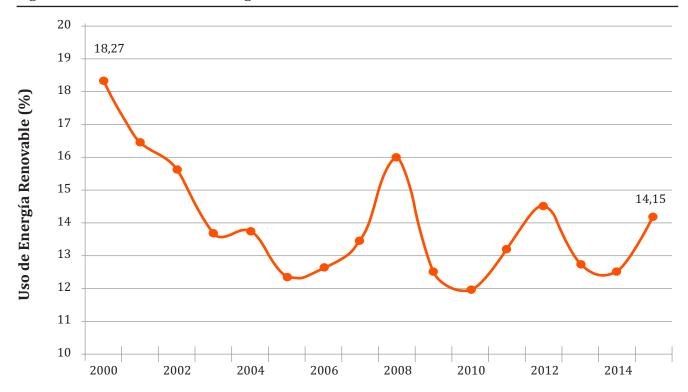
en promedio por año (MICSE, 2016). Por otro lado se espera mejoras en el indicador ante esta estructura de producción de electricidad; por ejemplo, los datos reportados para la primera semana del mes de febrero del año 2017 indican un porcentaje de 84,07% de generación renovable<sup>2</sup>.

Coca Codo Sinclair (1500 MW), Sopladora (487 MW), Minas San Francisco (270 MW), Toachi Pilatón (254MW), Delsitagua (180 MW), Manduriacu (65 MW), Quijos (50 MW), Mazar Duidas (21 MW).

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Información obtenida del sistema de información de ARCONEL (SISDAT).

Por otro lado, la inversión en proyectos con fuentes de renovable no convencionales impulsados, aun no son representativos (No se supera el 3% (MICSE, 2016), por lo cual no se observan cambios en la participación de estas fuentes durante el periodo de análisis. Esta situación implica, considerar proyectos de energías no convencionales, aprovechando el recurso el país<sup>3</sup>.

Figura 6. Evolución del uso de energías renovables en el Ecuador



Fuente: Elaborado por los autores

#### 4.1 Evaluación a nivel de América del Sur

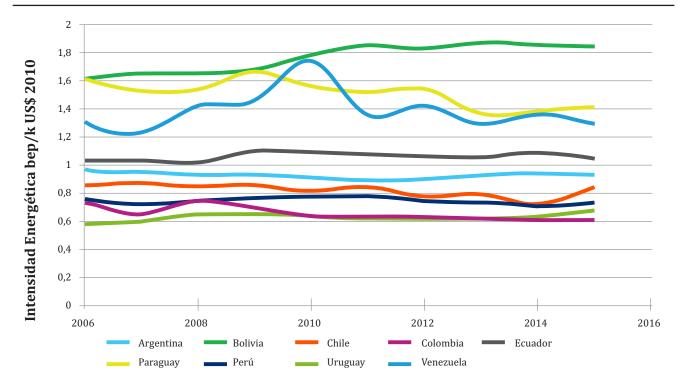
Para el análisis comparativo se seleccionaron dos indicadores: intensidad energética y la cobertura eléctrica. Estos indicadores fueron seleccionados en base a la disponibilidad de información obtenida de la plataforma de la OLADE. En la Figura 7, se evalúa la intensidad energética de varios países de América del Sur.

Elevados valores de intensidad energética indican un ineficiencia del país ya que se consume altos volúmenes de energía para producir un PIB bajo, lo ideal es tener valores bajos, para que el PIB sea alto con un consumo bajo de energía.

La cobertura eléctrica (Figura 8), en Ecuador ha mejorado. En los últimos años se ha buscado atender a más zonas rurales, trabajando en planes de electrificación conjuntamente con generales comunidades. En términos este indicador incremento de 88% en el año 2000 al 97% en el 2015. A nivel de la de América del Sur se ha trabajado significativamente en garantizar la cobertura eléctrica a la mayoría de la población, los resultados más notorios son el pises como Colombia, Ecuador, Argentina, Sin embargo en el caso de Ecuador es necesario continuar impulsando estos proyectos, ya que hay una brecha de cerca del 2% por cubrir. La distribución del país hace que haya zonas aisladas sin servicio de electricidad por lo que el uso de sistemas aislados es muy aplicable a estos sistemas.

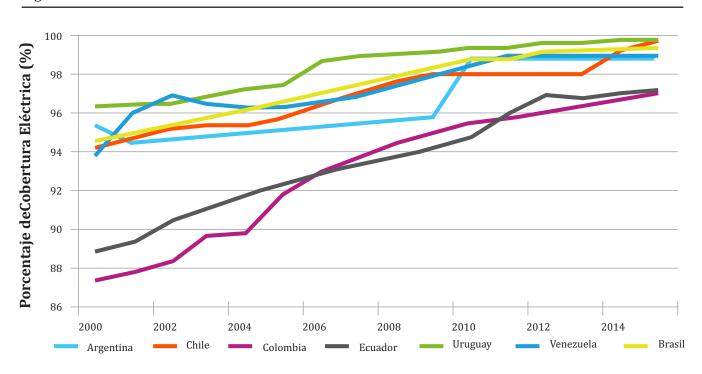
<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Potencial eólico (1650 MW), Potencial Geotérmico teórico (650 MWe), Insolación media global (4545 Wh/m2/día), Obtenido del Informe de Energías renovables del Ministerio de Electricidad y Energías Renovable (2015).

Figura 7. Intensidad Energética de los países de América del Sur



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 8. Cobertura eléctrica en América del Sur



Fuente: Elaborado por los autores

#### 4.2 Desempeño energético del Ecuador

Una vez aplicada la normalización de cada uno de los indicadores, se los agrupó para dos años de evaluación. Por cuestiones gráficas, los años de análisis considerados fueron 2000 y 2015.

Utilizando la Figura 9, de acuerdo a los indicadores utilizados, la autarquía energética, ha disminuido en aproximadamente 36%, como consecuencia de la dependencia de importaciones, principalmente, en hidrocarburos. Esto implica considerar medidas de eficiencia energética que permitan reducir estas tendencias de consumo. Considerar primero estrategias de eliminación de subsidios es esencial, ya que estos "incentivos no focalizados" son una barrera para aplicar medidas de reducción de consumo de combustibles fósiles.

Así también, se debe considerar y estudiar en el mediano plazo la factibilidad de la implementación de una refinería adicional que incremente la oferta de derivados. El contar con una refinería permite reducir las importaciones y garantizar una mejor seguridad del suministro de energía secundaria.

La problemática internacional como la variación de los precios del petróleo ha ocasionado que la participación de las exportaciones de petróleo disminuya en términos monetarios dentro del PIB del país. Con esta situación se abre una ventana para un desarrollo que considere otro tipo de recursos, como agrícola, industrial.

En términos generales y de acuerdo a la metodología utilizada, el mayor área indica un mayor acercamiento a un desarrollo sostenible (Claudia, Víctor, & Guillermo, 2009). En base a esto el área del 2000 era mejor a la del 2015. Por lo que es importante considerar medidas de eficiencia energética que mejoren los indicadores como robustez, uso de renovables, autarquía energética y productividad energética. Esta situación implica que el consumo de energía ha crecido con ello las emisiones y por ende problemas de tráfico y contaminación, principalmente en ciudades donde el uso de energía es alto.

Autarquía energética 1,0 0,8 Uso de la 0,6 Robustez frente energía renovable a cambios externos 0,40.2 Pureza relativa del Productividad uso de la energía energética 2015 2000 Cobertura eléctrica

Figura 9. Comparación de indicadores energéticos para el Ecuador

Fuente: Elaborado por los autores

#### 5. CONCLUSIONES

A pesar de los esfuerzos y la inversión en el período de estudio, no ha disminuido la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles en el país. Para mejorar los indicadores es necesaria la implementación de medidas de eficiencia energética en corto plazo, principalmente en los sectores de consumo.

El análisis e interpretación de los indicadores energéticos debe ser realizado dentro del contexto de las prioridades de energía y desarrollo sustentable de cada país. Los indicadores seleccionados en este estudio son representativos para cualquier país y permiten una evaluación adecuada del sector energético.

Sin embargo, desagregar por sector económico permitirá identificar el sector que requiere atención inmediata. Próximos estudios deben considerar una mejor desagregación, o iniciar con un proceso de recopilación de información más detallado que en el caso de este artículo son una barrera para cumplir con este detalle.

El desarrollo sustentable está dirigido en cuatro diferentes dimensiones: económica, ambiental, social y político-institucional. Las metodologías revisadas hasta el momento no incluyen el componente político-institucional, lo cual indica la necesidad de incluir variable para medir el cumplimiento de las políticas y de los responsables de esta gestión.

#### REFERENCIAS

Ben Abdallah, K., Belloumi, M., & De Wolf, D. (2013). Indicators for sustainable energy development: A multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian road transport sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 34–43. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.066

CEPAL. (2002). Indicadores de Sustentabilidad 1990-1999. (CEPA, Ed.), Ingeniare Revista chilena de ingenier (Vol. 17). Santiago de Chile: Naciones Unidas. https://doi.org/10.3989/arbor.2000.i653.1000

CEPAL; OLADE-GTZ. (2003). Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la Formulación de Políticas Energéticas. Cuadernos de la CEPAL.

Claudia, P., Víctor, P., & Guillermo, M. (2009). Política Mexiana e indicadores de sustentabilidad.

Espinoza, S., & Guayanlema, V. (2017). Balance y proyecciones del sistema de subsidios energéticos en Ecuador. In Análisis (pp. 1–28). Friedrich-Ebert-Stiftung. Tomado de: http://library.fes.de/pdf-files/bueros/quito/13648.pdf

Hook, T., Janouska, S., & Moldan, B. (2016). Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. Ecological Indicators: January 2016; 60: 565-573. Ecological Indicators, January (60), 565-573.

Kates, R. W., Parris, T. M., & Leiserowitz, A. A. (2005). What Is Sustainable Development? Goals, Indicators, Values, and Practice. Environment, 47(3), 8–21.

Kemmler, A., & Spreng, D. (2007). Energy indicators for tracking sustainability in developing countries. Energy Policy, 35(4), 2466–2480. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.09.006

Mainali, B., Pachauri, S., Rao, N. D., & Silveira, S. (2014). Assessing rural energy sustainability in developing countries. Energy for Sustainable Development, 19(1), 15–28. https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.01.008

MICSE. (2015a). Balance Energetico Nacional 2015 (Base 2014). Balance Energetico Nacional, (1). https://doi.org/10.1017/CB09781107415324.004

MICSE. (2015b). Catálogo de Inversiones de los Sectores Estratégicos 2015 - 2017. Quito. Tomado de: http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/catalogo-de-inversiones/

MICSE. (2016). Agenda Nacional de Energía 2016-2040. Quito. Tomado de: http://www.sectoresestrategicos.gob. ec/agenda-nacional-de-energia-2/

MICSE. (2016). Balance Energético Nacional 2016. Quito. Retrieved from www.sectoresestrategicos.gob.ec

Ministerio del Ambiente. (2016). Primer Informe Bienal de Actualización de Ecuador. Quito. https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2

Nicolli, F., & Vona, F. (2012). The Evolution of Renewable Energy Policy in OECD Countries: Aggregate Indicators and Determinants. Nota Di Lavoro, 51, 40. https://doi.org/10.2139/ssrn.2123094

OECD/IEA. (2014). Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making.

Schlör, H., Fischer, W., & Hake, J. F. (2013). Methods of measuring sustainable development of the German energy sector. Applied Energy, 101, 172–181. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.05.010

SENPLADES. (2013). Plan Nacional Buen Vivir 2013-2017 Resumen (Primera Ed). Quito: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. Tomado de: www.buenvivir.gob. ec

Sheinbaum-Pardo, C., Ruiz-Mendoza, B. J., & Rodríguez-Padilla, V. (2012). Mexican energy policy and sustainability indicators. Energy Policy, 46, 278–283. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.060

Streimikiene, D., Ciegis, R., & Grundey, D. (2007). Energy indicators for sustainable development in Baltic States. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(5), 877–893. https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.004

Vera, I., & Langlois, L. (2007). Energy indicators for sustainable development. Energy, 32(6), 875–882. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.08.006

WCED. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Acronyms and Note on Terminology Chairman â€TM s Foreword. Brundtland.

World Bank. (2015). Global Economic Prospects. Having fisical space and using it, (January), 69–80. Tomado de: http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/GEP/GEP2015a/pdfs/GEP15a\_web\_full.pdf

# DESARROLLO DE LA EQUIDAD DE GÉNERO EN EL SECTOR ENERGÉTICO DE LOS PAÍSES MIEMBROS DE OLADE: UN RECORRIDO DE 5 AÑOS

Sissy Larrea<sup>1</sup>

Recibido: 26/oct/2017 y Aceptado: 7/nov/2017 ENERLAC. Volumen I. Número 2. Diciembre, 2017 (140-146).



Fotografía ©ICE, Parque Eólico Tejona

#### **RESUMEN**

Desde el 2012 al 2017 OLADE lleva adelante el subproyecto "Desarrollo de la Equidad de Género en la toma de decisiones en el sector energético". Para lograr este cometido, OLADE elaboró una Estrategia de Equidad de Género desde la Secretaría Permanente para promover la incorporación de las necesidades de hombres y mujeres en las políticas energéticas de los países miembros. Con esta estrategia, OLADE hizo en ese entonces un compromiso por cualificar su trabajo regional y su asistencia técnica a los países, al identificar las diferencias y brechas de género en la toma de decisiones y en el desarrollo en general. En resumen los resultados del proyecto han sido los siguientes: Una estrategia de Género con objetivos estratégicos, un diagnóstico y línea base para los países. Una Guía sobre Género y Energía para capacitadoras(es) y gestoras(es) de Políticas Públicas y proyectos. Cuatro Diálogos Subregionales (en el Caribe angloparlante, Caribe hispano parlante, Sudamérica y Centro América). Cinco Cursos virtuales CAPEV en el manejo de la herramienta de la Guía de Género y Energía en 5 años. Se creó una Red de expertos en Género y Energía que funciona virtualmente con apoyo de la plataforma web de OLADE. Se ha avanzado en la institucionalización del enfoque de género en los países miembros, al 2016 fueron 10 países los que reportaron tener proyectos responsables de género e incluso una Unidad o Comisión de Género. Se ha realizado dos Encuentros regionales de Especialistas y puntos focales de los países,

1 Asesora de Equidad de Género de OLADE. Master en Género y Desarrollo de la FLACSO Ecuador y Licenciada en Antropología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Cuenta con más de 20 años de experiencia en asesoría en políticas de género al sector estatal y proyectos de desarrollo tanto a nivel de Ecuador como de países de América Latina. sissy.larrea@olade.org

el primero en Guatemala y el segundo en Quito. Asistencia técnica a 14 países en la incorporación del enfoque de género en proyectos energéticos, algunos de ellos en la línea de cambio climático y NAMAS. Se realizaron Alianzas Estratégicas, se incluyó el enfoque de género en el proyecto de Responsabilidad Social Corporativa de Guatemala. Se elaboró un conjunto de indicadores básicos de género y energía para los proyectos siendo un aporte para los países. Estos han sido difundidos en talleres de capacitación y en asistencia técnica directa

**Palabras Claves:** Acceso a Energía con Equidad, Energía, Género, Indicadores, Institucionalización.

#### **ABSTRACT**

From 2012 to 2017, OLADE carries out the subproject on "Development of Gender Equity in decision-making in the energy sector". To achieve this, OLADE developed a Gender Equity Strategy from the Permanent Secretariat to promote the incorporation of the needs of men and women into the energy policies of the member countries. With this strategy, OLADE made a commitment at that time to qualify its regional work and its technical assistance to countries by identifying gender differences and gaps in decision-making and development in general. In summary, the results of the project have been as follows: A Gender Strategy with strategic objectives, a diagnosis and a baseline for the countries. Guidelines on Gender and Energy for Trainers and Managers of public policies and projects. Four Sub-regional Dialogues (in the English-speaking Caribbean countries, the Spanish-speaking Caribbean countries, South America and Central America). Five CAPEV virtual courses in the management of the tool of the Gender and Energy Guide in 5 years. A Gender and Energy Expert Network was created that works with virtual support from the OLADE web platform. Progress has been made in the institutionalization of the gender approach in the member countries. By 2016, there were 10 countries that reported having gender responsible projects and even a Gender Unit or Commission. Two Regional Meetings of Specialists and focal points of the countries have been held, the first in Guatemala and the second in Quito. Technical assistance was given to 14 countries in the incorporation of the gender approach in energy projects, some of them in the climate change and NAMAS. Strategic Alliances were made; the gender approach was included in the Corporate Social Responsibility project of Guatemala. A set of basic indicators of gender and energy was developed for the projects, that is a contribution for the countries. These have been disseminated in training workshops and direct technical assistance.

**Keywords:** Access to Energy with Equity, Energy, Gender, Indicators, Institutionalization.

#### 1. INTRODUCCIÓN

A partir de mayo del 2012 se inicia en OLADE el proyecto "Acceso a la energía sostenible para la Región de América Latina y el Caribe" con el apoyo de la Cooperación Canadiense dentro del cual se incluye el subproyecto "Desarrollo de la Equidad de Género en la toma de decisiones en el sector energético". El objetivo del proyecto es contribuir y apoyar a disminuir la inequidad entre hombres y mujeres en el acceso a los recursos energéticos en los países y a crear mayores oportunidades para las mujeres en la toma de decisiones en proyectos, programas y políticas de los países de la región.

Para lograr este cometido, OLADE elaboró una Estrategia de Equidad de Género (OLADE: 2013) desde la Secretaría Permanente para promover la incorporación de las necesidades de hombres y mujeres en las políticas energéticas de los países miembros.

Con esta estrategia, OLADE hizo en ese entonces un compromiso por cualificar su trabajo regional y su asistencia técnica a los países, al identificar las diferencias y brechas de género en la toma de decisiones y en el desarrollo en general.

OLADE reconoció que existen disparidades de género en prácticamente todo contexto y por lo tanto es necesario analizarlas desde el punto de vista económico, social, cultural, de clase social, ambiental para poder aplicar medidas que tiendan a desaparecer esas desigualdades y el sector energético no es la excepción.

# 2. ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE INCLUIR LAS NECESIDADES DE LAS MUJERES EN EL SECTOR DE ENERGÍA?

Cuando hablamos de mujeres pensamos en las tareas que socialmente han sido asignadas a ellas, como los roles de reproducción de las familias y por lo tanto el cuidado diario de su alimento, su salud; en otras palabras, garantizar la seguridad alimentaria y el bienestar familiar en general.

En el área rural las mujeres están relacionadas con la agrobiodiversidad, la provisión de leña y agua, clasificación de semillas, preparación de alimentos, labores agrícolas en todos los ciclos productivos, almacenamiento de especies, labores culturales (como el control de plagas), crianza de animales (en especial de especies menores), comercialización en mercados locales, medicina tradicional para el cuidado de la familia. Sus tareas están directamente relacionadas con la transmisión de la cultura y las tradiciones. Todas estas actividades suponen una cantidad de disponibilidad de energía de calidad; lo cual no siempre es posible de obtener debido a las deficiencias energéticas en los países.

En las zonas urbanas, las mujeres, si bien se han incorporado al sector laboral tampoco han dejado de ser responsables (en muchos casos sin la ayuda de sus compañeros, esposos o convivientes) de las tareas domésticas lo cual les supone largas jornadas de trabajo para responder a sus trabajos fuera de casa como a los que son dentro del hogar. Esto no siempre es reconocido y valorado y tiene como consecuencia la pobreza de tiempo de las mujeres. Estas circunstancias no son tomadas en

cuenta en las políticas energéticas y menos aún en las laborales.

Las mujeres de los sectores urbano populares se ven en la necesidad de solventar las necesidades de sus hijos e hijas y ante las pocas posibilidades, de obtener trabajos bien remunerados, emprenden en negocios de venta informales. Es decir, en el sector informal o en el de servicios, como trabajadoras del hogar remuneradas, en muchos casos bajo relaciones laborales no formales y sin protección social o derechos básicos. Para estos emprendimientos, al igual que en sus tareas diarias, el contar con fuentes de energía eficientes y a costos accesibles, es fundamental.

Al desagregar las tareas diarias de las mujeres vemos que están sobrecargadas de trabajo, ya sea en las zonas rurales como en las urbanas, y sufren de pobreza del tiempo para mejorar sus condiciones. También vemos que existen varias desigualdades de género que se agravan por otras condiciones, como la clase social, la pertenencia étnica, la opción sexual o de discapacidad.

Mediante la aplicación del enfoque de género en el sector energético podemos identificar esas condiciones de DESIGUALDAD que pueden estar viviendo las mujeres en el acceso y control de los recursos energéticos, ambientales y de desarrollo; es decir, en el beneficio y toma de decisiones. Este análisis nos deja ver claramente como las mujeres suelen ser las principales usuarias de energía, ya sean por sus distintas tareas productivas (producción de alimentos o de iniciativas de comercio en zonas urbanas o rurales) o por su trabajo doméstico no remunerado destinado a la reproducción de sus familias. A pesar de ser principales usuarias de energía ellas se encuentran ausentes en los sectores donde se toman las decisiones sobre los recursos y beneficios energéticos pues en muchos casos se considera que es un tema exclusivamente técnico.

Cuando se trata de la energía, o mejor dicho de la falta de cualquier fuente energética, son las mujeres de las familias las primeras interesadas en conseguir este recurso. A lo largo de los países de Latinoamérica y el Caribe hemos visto como algunos proyectos energéticos contribuyen a la igualdad de género aplicando enfoques de equidad, la mayoría en el marco de las energías renovables y de la electrificación rural.

Sin embargo, de acuerdo a nuestros diagnósticos, la mayor parte del sector energético en nuestros países no cuenta con personal formado en género, no toman en cuenta este tema ni tienen políticas, estrategias de género o proyectos energéticos que consideren la igualdad de género. Estamos frente a un tema que para muchos estados y países sigue siendo masculino y meramente técnico.

#### 3. LA ESTRATEGIA DE GÉNERO DE OLADE

Con el fin de impulsar la incorporación del enfoque de género en las instituciones del sector energético en los países miembros de OLADE y lograr disminuir las brechas de desigualdad entre hombres y mujeres en el acceso a la energía se definieron 4 líneas estratégicas:

- a) Compromiso político de alto nivel. Considerando que el sector energético es considerado un sector mayoritariamente masculino es preciso lograr el apoyo de las altas autoridades, para incorporar el enfoque de género tanto a nivel de procesos y políticas como de la institucionalización del tema y la sensibilización del personal.
- b) Herramientas de transversalización de género. El objetivo fue aumentar las capacidades de técnicos y técnicas energéticas en cuanto a los conocimientos de género por lo que fue necesario desarrollar instrumentos para incorporar la equidad de género en proyectos, políticas e instituciones.
- c) Alianzas estratégicas.
- d) Generación de conocimiento mediante la difusión de experiencias de la región y el apoyo a redes de mujeres del sector energía.

## 4. UNA HERRAMIENTA NECESARIA PARA EL SECTOR ENERGÉTICO

Una de las necesidades identificadas en el diagnóstico inicial del proyecto, en el 2012, fue la de contar con una herramienta de capacitación en Género y Energía para el personal de los países, ya que se desconocía el tema y las formas en que se podía trabajar de manera concreta en las instituciones y los proyectos.

A partir del componente de alianzas estratégicas generamos este instrumento conjuntamente con UICN y ENERGIA. La Guía de Género y Energía (OLADE-UICN-ENERGIA: 2014) le ha permitido a OLADE fortalecer la capacitación, sensibilización del personal institucional, gubernamental, sociedad civil y de cooperación internacional.

En cada uno de los casos en que se ha aplicado la guía, la recepción de los/as participantes ha sido favorable, se ha mencionado que es importante contar con un instrumento específico para Género y Energía que recopila estudios de casos con ejemplos de la región y con ejercicios y herramientas prácticas para aplicar en los casos en que se necesite. Hasta el momento las personas que se han formado en este instrumento provienen de distintos sectores energéticos: electricidad, energías renovables, hidrocarburos, planificación estatal, agua, telecomunicaciones, ambiente y gestores de proyectos en la cooperación internacional, ONG 's nacionales o regionales.

El personal que se ha formado con el instrumento, toma conciencia de la necesidad de aplicar cambios en el sector; en algunos casos el proceso de capacitación ha tenido como resultado la decisión de algunas instituciones de estado en crear instancias dentro del sector para promover la equidad de género y también la continua formación del personal interno.

Con este aporte OLADE contribuye a la generación de conocimientos y de capacidades en los países en la lucha por la igualdad de género en el sector energético y contribuye a los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS en específico al Objetivo 7 (Asegurar el acceso a fuentes de energía económicas, confiables, sostenibles y modernas para todos) y al Objetivo 5 (Lograr la igualdad de género y el empoderamiento de todas las mujeres y las niñas).



#### 5. PRINCIPALES RESULTADOS

En resumen, los resultados del proyecto han sido los siguientes:

- Una estrategia de Género con objetivos estratégicos, un diagnóstico y línea base para los países.
- Una Guía sobre Género y Energía para capacitadoras(es) y gestoras(es) de Políticas Públicas y proyectos. La Guía ha sido utilizada para capacitar a personal del sector energético público y privado de 15 países (Bolivia, Colombia, Perú, Haití, Honduras, República Dominicana, Jamaica, México, Nicaragua, Surinam, Guatemala, Chile, Cuba, Uruguay, El Salvador. Así como a organismos de la cooperación internacional, ONGS internacionales y el Banco Interamericano de Desarrollo-BID.
- Se ha elevado el Compromiso de alto nivel de autoridades y personal en cargos de decisión mediante 4 Diálogos Subregionales (en el

Caribe angloparlante, Caribe hispano parlante, Sudamérica y Centro América). Estos diálogos fueron fundamentales para lograr el apoyo posterior de las autoridades a los equipos técnicos y para implementar cambios en las instituciones de los países.

- Se realizaron 5 Cursos virtuales CAPEV en el manejo de la herramienta de la Guía de Género y Energía en 5 años. Uno de los cursos se dictó en inglés para favorecer la participación de países del Caribe.
- Se creó una Red de expertos en Género y Energía que funciona virtualmente con apoyo de la plataforma web de OLADE. Mediante la red, se han presentado estudios de caso de varios países sobre proyectos de la sociedad civil, instituciones energéticas y Estado. Se han presentado estudios de caso de: UTE-Uruguay, SENER-México, INEGI en Indicadores de género y energía, ENATREL de Nicaragua, Ministerio de Energía de Uruguay, Energías renovables y redes de la UICN, la experiencia de género en el proyecto de Energía de la GIZ México, entre otros.
- Se ha avanzado en la institucionalización del enfoque de género en los países miembros. En el 2012 cuando se realizó la línea base del proyecto, solo Nicaragua y México tenían acciones de género en el Ministerio de Energía. Al 2016 cuando realizamos una nueva encuesta a los países, fueron 10 países los que reportaron tener proyectos, responsables de género e incluso una Unidad o Comisión de Género funcionando (Colombia, Chile, Cuba, El Salvador, Guatemala, Haití, México, Nicaragua, Perú, Uruguay).
- Se ha realizado 2 Encuentros regionales de Especialistas y puntos focales de los países, el primero en Guatemala y el segundo en Quito. En los encuentros se han presentado experiencias de los países en la incorporación del enfoque de género, las dificultades que enfrentan y los retos a futuro.

- Asistencia técnica a 14 países en la incorporación del enfoque de género en proyectos energéticos, algunos de ellos en la línea de cambio climático y NAMAS.
- Se realizaron Alianzas Estratégicas con entidades de la cooperación internacional y del Sistema de Naciones Unidas (PNUD, GIZ, UNWOMEN, UICN, HIVOS) para realizar eventos conjuntos y así potenciar el tema en la región y optimizar recursos.
- Se incluyó el enfoque de género en el proyecto de Responsabilidad Social Corporativa de Guatemala (apoyado desde la cooperación canadiense) y que permitió empoderar a 3 comités de mujeres indígenas en el manejo de los créditos productivos, los beneficios del proyecto y la participación en las decisiones del proyecto de manera directa.
- Se elaboró un conjunto de indicadores básicos de género y energía para los proyectos siendo un aporte para los países. Estos han sido difundidos en talleres de capacitación y en asistencia técnica directa.

#### 6. CONCLUSIONES

Si bien han sido cinco años sostenidos de asesoría y capacitación al personal de las instituciones energéticas de la mayoría de los países miembros, el proceso es a largo plazo. Sin duda, hace falta institucionalizar el enfoque al interno de la Secretaria Permanente de OLADE, por lo que la sostenibilidad de este esfuerzo es aún un reto.

De igual manera, la rotación de personal en las instituciones hace que la capacitación deba ser constante y permanente. En este tema la pérdida de personal y autoridades ya formadas y sensibles al tema es muy grande y puede costar el sostener un proceso que toma años.

Es importante seguir incorporando los indicadores de género y energía en los proyectos a partir de las herramientas de la Guía de OLADE

y las experiencias que se han presentado en los cursos CAPEV.

Sigue siendo un reto para la Región que el sector energético comprenda la necesidad de formar equipos sensibles al enfoque de género para que puedan apoyar los proyectos y políticas que se elaboran en hidrocarburos, electricidad, energías renovables. Es importante que las autoridades comprendan que el sector energético no es neutro a las necesidades de género y que cada acción que se realiza afecta de forma distinta a hombres y mujeres.

A pesar de los avances, es importante continuar los esfuerzos dirigidos a hacer más amigable el sector a la participación y el trabajo de las mujeres en espacios técnicos y de decisiones. No será posible acortar las brechas sino incluimos más mujeres profesionales formadas y sensibles a la equidad de género en un sector que ha sido fundamentalmente masculino.

Es preciso continuar el apoyo a las redes de Género y Estadísticas formadas en México que gracias a una alianza estratégica establecida por este proyecto con la CEPAL dio unos primeros pasos hacia la construcción de indicadores de género y energía en acceso y consumo para la región. Estas estadísticas buscan dar cuenta de las brechas en el acceso a los recursos energéticos, por ejemplo, la biomasa o la electricidad desagregado por sexo y los avances en estos temas. Las estadísticas han sido siempre un reto en la consecución de los derechos de las mujeres y el tema energético no es una excepción.

#### REFERENCIAS

OLADE (2013), Estrategia de Equidad de Género de OLADE, Sissy Larrea, Quito.

OLADE-UICN-ENERGIA (2014), Guía de Género y Energía para capacitadoras(es) y gestoras(es) de políticas y proyectos, Quito.









www.semanadelaenergia.olade.org

CON EL APOYO DE



















Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y Fernandez Salvador Quito - Ecuador

Tel. (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995 / 2599-489

enerlac@olade.org