



Inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica

Smart solar photovoltaic inverters

Inversores solares fotovoltaicos inteligentes

Dario Fernando Gruezo-Valencia^I
don.da1@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6871-4988>

Vinicio Samuel Solis-Mora^{II}
samuel_solis387@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1324-7606>

Correspondencia: don.da1@hotmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Revisión

***Recibido:** 25 de febrero de 2022 ***Aceptado:** 26 de marzo de 2022 * **Publicado:** 07 de abril de 2022

- I. Universidad Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador.
- II. Universidad Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador.

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo exponer algunas consideraciones y reflexiones acerca de los inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica. La metodología utilizada se basó en una investigación cualitativa de tipo documental bibliográfico, bajo un diseño de análisis de contenido cualitativo. Los documentos que conformaron la base del análisis documental quedó conformada por producciones científicas tales como artículos de investigación, trabajos de grado de maestría o tesis doctorales publicados entre 2018 y 2021 elaborados en idioma español, publicados en la base de datos de Google académico, revistas indexadas como "Scielo", "Redalyc" "Dialnet", entre otras y repositorios digitales de diversas universidades nacionales e internacionales. En total fueron seis (06) fuentes bibliográficas las que terminaron siendo sistematizadas para el respectivo análisis de contenido. Mediante análisis comparativo de lecturas, se obtuvieron las ideas insertas en este documento, denotando que este es de carácter general y no particular, por cuanto se intentó contrastar tecnología y medioambiente. Como conclusión se tiene que los inversores solares inteligentes son un elemento primordial para un sistema solar fotovoltaico, pues no solo se encargan de convertir la corriente directa variable de los paneles solares en corriente alterna, que puede ser utilizada en las empresas o en las viviendas, sino que además tiene entre otras funciones la compensación de potencia reactiva; el diagnóstico de las fallas en tiempo real y la gestión más eficiente de energía. Todo lo cual conlleva a mejores resultados maximizando la cantidad de potencia generada por el sistema fotovoltaico, en este sentido, las actividades económicas del futuro serán cada día más de mayor contenido tecnológico.

Palabras clave: Tecnologías medioambientales; desarrollo; impacto; medioambiente.

Abstract

The objective of this article is to expose some considerations and reflections about intelligent photovoltaic solar energy inverters. The methodology used was based on a qualitative bibliographic documentary research, under a qualitative content analysis design. The documents that formed the basis of the documentary analysis were made up of scientific productions such as research articles, master's degree works or doctoral theses published between 2018 and 2021 prepared in Spanish, published in the academic Google database, indexed journals such as "Scielo", "Redalyc" "Dialnet", among others and digital repositories of various national and international universities. In total there were six (06) bibliographic sources that ended up being systematized for the

respective content analysis. Through comparative analysis of readings, the ideas inserted in this document were obtained, denoting that this is of a general and not particular nature, since an attempt was made to contrast technology and the environment. In conclusion, intelligent solar inverters are an essential element for a photovoltaic solar system, since they are not only responsible for converting the variable direct current of the solar panels into alternating current, which can be used in companies or homes, but also has among other functions the compensation of reactive power; diagnosis of faults in real time and more efficient energy management. All of which leads to better results by maximizing the amount of power generated by the photovoltaic system, in this sense, the economic activities of the future will be more technological every day.

Keywords: Environmental technologies; development; impact; environment.

Resumo

O objetivo deste artigo é expor algumas considerações e reflexões sobre inversores inteligentes de energia solar fotovoltaica. A metodologia utilizada baseou-se em pesquisa bibliográfica documental qualitativa, sob um desenho de análise de conteúdo qualitativa. Os documentos que serviram de base para a análise documental foram compostos por produções científicas como artigos de pesquisa, trabalhos de mestrado ou teses de doutorado publicados entre 2018 e 2021 elaborados em espanhol, publicados na base acadêmica Google, revistas indexadas como "Scielo", "Redalyc", "Dialnet", entre outros e repositórios digitais de diversas universidades nacionais e internacionais. No total foram seis (06) fontes bibliográficas que acabaram sendo sistematizadas para a respectiva análise de conteúdo. Através da análise comparativa de leituras, foram obtidas as ideias inseridas neste documento, denotando que este é de natureza geral e não particular, uma vez que se procurou contrastar tecnologia e meio ambiente. Em conclusão, os inversores solares inteligentes são um elemento essencial para um sistema solar fotovoltaico, pois não são apenas responsáveis por converter a corrente contínua variável dos painéis solares em corrente alternada, que pode ser utilizada em empresas ou residências, mas também tem entre outros funciona a compensação de potência reativa; diagnóstico de falhas em tempo real e gerenciamento de energia mais eficiente. Tudo isso leva a melhores resultados ao maximizar a quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico, nesse sentido, as atividades econômicas do futuro serão cada dia mais tecnológicas.

Palavras-chave: Tecnologias ambientais; desenvolvimento; impacto; meio ambiente.

Introducción

En los tiempos que trascurren, se ha estado enfatizando desde diversos organismos internacionales acerca de la importancia del establecimiento de medidas que conduzcan por un lado al desarrollo sostenible de la economía y, por el otro a reducir el impacto negativo al ecosistema planetario en la visión de lograr el bienestar general. De este modo, adoptar tecnologías amigables con el medio ambiente en la búsqueda de círculos virtuosos, se supone como un aspecto imperativo orientado a lograr la descarbonización de las fuentes de energía y con ello, profundizar aún más en el uso de recursos energéticos menos contaminantes.

De acuerdo con (Cavazos, 2020) la tecnología ambiental, tecnología verde o tecnología limpia es aquella que al ser aplicada no produce efectos secundarios o transformaciones al equilibrio ambiental o a los sistemas naturales. En el mismo marco, (Martín, 2005), expresa que las tecnologías ambientales tienen el potencial para reducir las presiones sobre recursos naturales y para fomentar la competitividad, debido a que pueden desacoplar el binomio crecimiento económico y degradación ambiental (p.2). Asimismo, (Arroyave & Garcés, 2006) conceptualizan como “Producción más Limpia” un enfoque integral preventivo, que pone énfasis en una mayor eficiencia de utilización de los recursos materiales o materias primas y los recursos energéticos, de modo que se incrementen simultáneamente la productividad y la competitividad.

Lo anterior deja entrever que el desarrollo económico y protección ambiental pueden llevarse a cabo, teniendo claro que la integración de estos ámbitos se hace posible mediante la generación y uso de energía limpia y renovable tanto a nivel industrial como doméstico. Para cumplir con estos objetivos, una de las tecnologías medioambientales más asequibles hoy en día son los sistemas fotovoltaicos, a decir de (Grijalva & Vélez, 2020) este tipo de tecnología ha crecido exponencialmente en los últimos años alrededor del mundo, esto debido a sus múltiples ventajas en diversas áreas, “como el ambiental dada su baja producción de elementos contaminantes, en el sentido técnico debido a que es un tecnología de última generación y finalmente en el área económica por sus bajos costos de instalación y operación” (p.20).

El desarrollo tecnológico ha permitido un alto grado de actualización en cuanto a la tecnología de producción de electricidad a partir de la energía fotovoltaica, especialmente en lo que respecta a los inversores, pues, tal como afirma (Gonzales, 2020) estos elementos juegan un papel fundamental en los sistemas solares fotovoltaicos, convirtiendo la potencia de corriente directa

generada por los paneles solares, a corriente alterna utilizable por aparatos eléctricos convencionales.

En este punto es oportuno indicar que, hoy en día, según (Santoyo, 2020) “los inversores ya no se limitan a convertir la electricidad DC (corriente continua) en AC (corriente alterna), sino que controlan y diagnostican la salud de los sistemas fotovoltaicos, lo que hace que el sistema sea inteligente” En el mismo orden, el Centro Nacional de Control de Energía de México (CENACE, 2020) destaca que los inversores inteligentes tienen la capacidad de regular frecuencia y voltaje, y equipamiento necesario para monitoreo, comunicación y control desde los centros de control de distribución.

A medida que la digitalización evoluciona las industrias tienen la obligación de transformarse para poder enfrentar los retos y cumplir con las responsabilidades y compromisos en un mundo que no deja de avanzar aceleradamente en el ámbito tecnológico y, a la vez debe poner el foco en el cuidado y protección del ambiente. A esta razón, los mencionados inversores inteligentes pueden constituirse en un importante aporte al desarrollo tecnológico para manejar el sistema fotovoltaico haciéndolos cada vez más sostenibles y seguros.

Sobre la base de las consideraciones anteriores, el presente artículo tiene como objetivo exponer algunas consideraciones y reflexiones acerca del uso de los inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica como una innovación tecnológica con miras a favorecer al medio ambiente.

Aspectos conceptuales

Promover el desarrollo y crecimiento económico de las naciones a través del uso de energías renovables para el beneficio de toda la población y del medio ambiente, requiere la indispensable sinergia de diversos sectores público y privados. Al respecto, (Martín, 2005) aduce que es necesaria la acción en el ámbito comunitario, nacional y local. Tomando en cuenta esta premisa, la adopción de cambios tendientes a la transformación de las formas como se hacen las cosas, sustentado en conocimientos generados como producto de la investigación, el desarrollo tecnológico y la actividad productiva misma, ha conllevado a considerar a la energía fotovoltaica como una alternativa viable para la consecución de esta meta, la cual ha tenido una gran demanda por las facilidades y ventajas que ofrece.

Algo que merece señalamiento particular sobre esta temática son los datos aportados de diversas investigaciones, mismas que dan cuenta de los beneficios atribuibles al uso de la energía fotovoltaica. Sobre este particular, International Renewable Energy Agency (IRENA, 2019),

destaca que en algunos países, la penetración de la energía solar fotovoltaica, entre otras, ya es mucho mayor que la media mundial, reportándose que el costo de la electricidad generada a partir de la energía solar fotovoltaica se redujo en un 77 % entre 2010 y 2018. (p.6).

Lo anteriormente descrito, explica de alguna manera la participación con tendencia al aumento de este tipo de energía, así en el informe (IRENA, 2019) se indica que “en un escenario compatible con el Acuerdo de París, para descarbonizar el sector energético, en particular la energía solar fotovoltaica desempeña un papel fundamental en la transición energética que involucra las energías limpias” (p.6).

La tecnología fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica se trata, según (Arencibia, 2016) de una tecnología que permite la conversión de la energía proveniente del sol en energía eléctrica. Esta conversión de energía se logra debido al efecto fotovoltaico, el cual consiste en la obtención de una corriente directa producto de la radiación electromagnética emitida por la luz del sol. Para este proceso es necesaria la implementación de una célula fotovoltaica constituida de material semiconductor que se ha sometido a un proceso de dopaje, para dar lugar a un campo eléctrico dentro de sí. La luz proveniente del sol emite fotones que son partículas energéticas, al incidir en la célula dichos fotones pueden ser reflejados, absorbidos o simplemente atravesar sin causar ningún efecto (García López, 2009).

Los fotones absorbidos ceden su energía a los electrones que conforman el material semiconductor, esta energía es aprovechada específicamente por los electrones ubicados en la capa de valencia quienes adquieren la energía suficiente para romper el enlace que los liga al núcleo y de tal manera circular libremente por el material (Guardiola, 2008). El campo eléctrico existente en el material induce una acumulación de cargas tanto positivas como negativas en los extremos del mismo provocando una diferencia de potencial (García López, 2009). Si se coloca un conductor que una los extremos de la célula, está claro que habrá una circulación de corriente, la cual puede realizar un trabajo útil al conectar en ella una carga determinada (Guardiola, 2008).

La evolución tecnológica proporciona las células fotoeléctricas o fotovoltaicas que son dispositivos fabricados con silicio, destinados a generar energía eléctrica a partir de la luz solar (Uzquiano, Sullivan, & Sandy, 2015). Un 90% de las células fotovoltaicas son fabricadas de silicio debido a su abundancia en la corteza terrestre y también a que su eficiencia se considera alta (García López, 2009).

La conversión fotovoltaica depende tanto de la intensidad de radiación incidente como de las propiedades intrínsecas del material (Guardiola, 2008). De esta forma, la radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce, como también a través de la absorción de la radiación, en dispositivos ópticos o de otro tipo (Barberá, 2015). Eventualmente, la potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m² en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia (Barberá, 2015).

Uno de los principales factores a tener en cuenta a lo largo de un proyecto donde se pretenda generar energía fotovoltaica es la irradiación solar media en la localidad donde se va a realizar la instalación. De ella depende la cantidad de energía que se podrá aprovechar, así como el rendimiento de los paneles indirectamente (debido a las pérdidas por altas temperaturas) (Muñoz, 2021).

En el Ecuador, la irradiación promedio es una de las más altas del mundo. Estudios realizados determinan que el país ecuatoriano, por su ubicación geográfica, es considerado un área de alto potencial de radiación solar donde se estima que la radiación incidente media es de 3-4 kWh/m² /día (Orellana & Orellana, 2015). Lo anterior es importante, debido a que muchos de los paneles solares se colocan inclinados para recoger mejor la irradiación solar, la cantidad óptima de energía se recoge cuando el panel está inclinado en el mismo ángulo que el ángulo de la latitud (Arla, Tapia, & Guasumba, 2017).

Sin duda alguna, en el proceso para transformar la energía solar en eléctrica, la innovación tecnológica es una herramienta crucial para aprovechar el recurso solar e impulsar la transformación energética tanto nivel nacional como global.

Sistemas fotovoltaicos: instalaciones y equipamiento

Los sistemas fotovoltaicos demandan instalaciones y equipamiento agrupados en componentes, tales como: un panel fotovoltaico, baterías, regulador e inversor solar (Alvarado, 2018). De este modo, los módulos fotovoltaicos son los encargados de captar la energía procedente de la radiación solar y transformarla en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico (Alvarado, 2018). El efecto fotoeléctrico o emisión fotoeléctrica o fotoemisión, subraya el hecho de que en ciertas condiciones, la luz se puede manipular de forma tal que sea capaz de mover electrones, mediante la liberación de los mismos a partir de un sólido (Grijalva & Vélez, 2020).

Los paneles fotovoltaicos están formados por la agrupación de células fotovoltaicas, aunque existen varios elementos que pueden ser usados para su fabricación, las más empleadas en la actualidad son las de Silicio, debido a la relación eficiencia-coste (Alvarado, 2018). El rendimiento de los paneles fotovoltaicos se define como el resultado de la división entre la máxima potencia de generación eléctrica y la potencia luminosa que se aplica sobre el panel (Alvarado, 2018). Por otra parte, el propósito de las baterías es la acumulación de energía, de forma que tanto las horas nocturnas o las horas en un día en las que no hay radiación suficiente, como los días en los que por incidencias climatológicas no se disponga de esta, se pueda disponer de un suministro garantizado (Alvarado, 2018).

En cuanto al regulador o controlador de carga, tiene la función de regular la intensidad y tensión producida por los módulos fotovoltaicos antes de que sea transferida hacia las baterías, protegiendo así la vida de los acumuladores durante el proceso de carga y descarga (Alvarado, 2018).

Con relación a la tarea del inversor solar, tiene que ver con la inversión de tensión. Una vez se dispone de energía, de generación directa de paneles o almacenada en baterías, ésta se descarga por los reguladores hacia el inversor. Este elemento transforma la energía en forma de corriente continua en corriente alterna y modifica el valor de la tensión para adaptarlo a la tensión típica de consumo (Alvarado, 2018). El inversor es la interfaz que procesa la energía captada por los paneles fotovoltaicos que generan potencia en corriente directa para interconectarlos a las cargas o a la red eléctrica, las cuales funcionan con corriente alterna (González, Cárdenas, & Álvarez, 2019). La corriente alterna, es la que puede ser utilizada en las viviendas, almacenar en baterías o verter a la red, de ahí que el inversor solar o inversor fotovoltaico, es uno de los elementos más importante de una instalación de autoconsumo.

La generación fotovoltaica, según (Vanek, Albright, & Angenent, 2012) es la obtención de manera directa de energía eléctrica de los rayos solares por medio de paneles fotovoltaicos, colocados como arreglos para satisfacer determinadas cargas, ya que la potencia de un simple panel esta entre los 80 y 200 Watt (W). Sus aplicaciones pueden ser tanto en grandes centrales de energía conectadas a la red, sistemas aislados y, para dotar de energía a ciertos elementos particulares como los satélites (p.671).

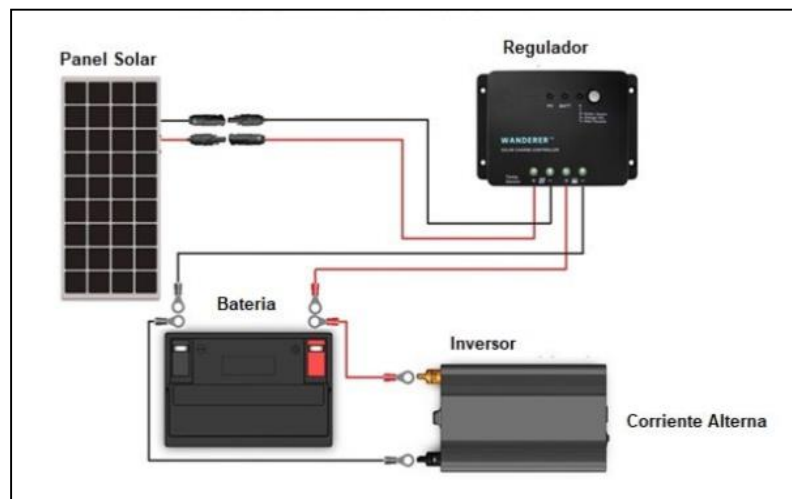


Figura 1. Componentes de los Sistemas Fotovoltaicos
Fuente: (Área Tecnología, 2012)

Inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica

De acuerdo a la literatura consultada, en la actualidad, en diversos países avanzados se experimenta un rápido crecimiento de la generación distribuida basada en inversores inteligentes, en particular de la energía solar fotovoltaica. En este esquema, las tecnologías digitales se convierten en un instrumento vital ya que favorecen la transformación energética de varias maneras: mejorando el monitoreo de los activos y su rendimiento, con operaciones más refinadas y un control más cercano al tiempo real, entre otros (IRENA, 2019). Es así que, hoy en día, se han logrado eficiencias superiores a 95 por ciento en inversores, llegando incluso a 99 por ciento en algunos casos (González, Cárdenas, & Álvarez, 2019). Estos mismos autores reseñan que dentro de las funciones de un inversor inteligente, se tiene: Compensación de potencia reactiva; Compensación de armónicos; Gestión de energía; Diagnóstico de las fallas; Diagnóstico en tiempo real, Interacción con elementos de la red (González, Cárdenas, & Álvarez, 2019).

En un futuro inmediato, los inversores inteligentes se constituirán en el «cerebro» del sistema fotovoltaico. Así, (Ding, 2021) severa que “aprovechando las tecnologías de semiconductores de vanguardia, se podrá acelerar los avances en energía solar fotovoltaica y las tecnologías de almacenamiento de energía para ayudar a las comunidades a alcanzar sus objetivos de neutralidad de carbono” (p.1). De acuerdo con (Deloitte Insights, 2018) Combinadas con inversores inteligentes, la energía solar puede aumentar la potencia mucho más rápidamente que las centrales

convencionales, contribuir a estabilizar la red incluso después de que se ponga el sol y, ofrecer una respuesta más precisa (es decir: responde más rápidamente con la potencia necesaria) que cualquier otra fuente de energía. Asimismo, destaca este órgano especializado que los inversores inteligentes también pueden convertir los recursos distribuidos en activos de red con un impacto mínimo en los consumidores, contribuyendo así a la visibilidad y la utilidad de estos recursos para las empresas eléctricas (Deloitte Insights, 2018).

Existen diversos fabricantes de renombre mundial, que comercializan inversores para emplearse en instalaciones fotovoltaicas, que van desde equipos pequeños que sirven para convertir la energía proporcionada por uno o dos paneles (200 W-500 W), los que manejan arreglos de cuatro a 40 paneles (1 kW-10 kW) para aplicaciones residenciales y los que procesan 10 kW-100 kW en aplicaciones comerciales, hasta los dedicados a convertir grandes cantidades de potencia para plantas generadoras (100 kW a 3 MW) (González, Cárdenas, & Álvarez, 2019).

Tipos de inversores solares

En el caso del autoconsumo solar residencial, se usan principalmente tres tipos de inversores solares: inversores string o en cadena, microinversores y optimizadores de potencia. Es de destacar, que (Muñoz, 2021) define cada uno de estos tipos de inversores de la siguiente manera:

a.-) Inversores tipo cadena, string o central: en las instalaciones fotovoltaicas con inversores string, los paneles solares se encuentran conectados por cadenas o líneas, siendo necesario un inversor por línea de placas fotovoltaicas. Por ello, la potencia producida por cada línea quedará restringida a la mínima potencia de cada panel de la línea. Estos inversores son los más utilizados y los más baratos del mercado, siendo su uso principal en instalaciones sin la presencia de sombras y con paneles que tienen un rendimiento muy similar.

b.-) Microinversores: son inversores de menor tamaño que los convencionales. Los microinversores se conectan a una placa solar únicamente, por tanto, transforman la corriente continua en alterna individualmente. Este modelo ofrece mejores prestaciones que los de cadena, pero la inversión es más elevada.

c.-) Optimizadores de potencia: los optimizadores de potencia combinan lo mejor de los inversores de cadena y los microinversores. Permiten ajustar la curva de producción de cada panel mientras que el inversor recoge la energía de cada uno. Este modelo es el más eficiente de los tres y, en caso de fallo del sistema, se desconectará automáticamente. Los optimizadores de potencia permiten

evitar que la pérdida de rendimiento de un panel solar (por sombras o por fallos) afecte a la producción del resto de paneles solares.

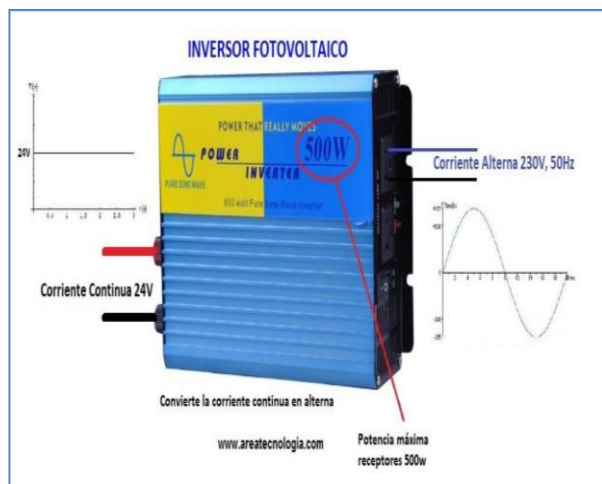


Ilustración 2. Inversor Fotovoltaico
Fuente: (Área Tecnología, 2012)

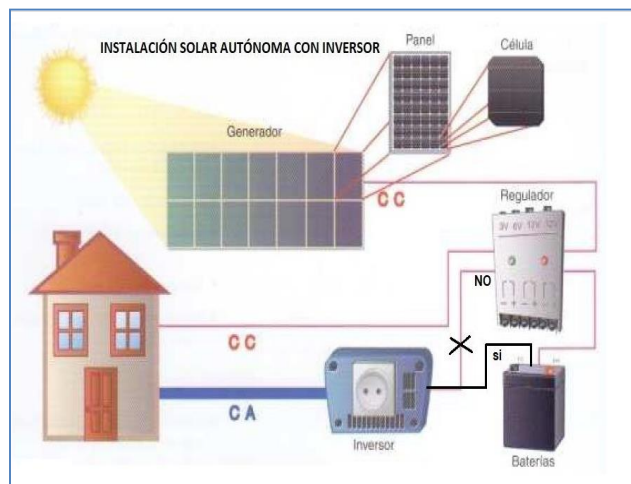


Ilustración 3. Instalación Solar Autónoma con Inversor
Fuente: (Área Tecnología, 2012)

Tecnología fotovoltaica en Ecuador

En el Ecuador, según (Muñoz, Rojas, & Barreto, 2018), a pesar de disponer de un alto potencial energético, el desarrollo de la energía solar fotovoltaica es aún incipiente, de manera particular en microgeneración distribuida; para septiembre de 2017, el ARCONEL informa que la capacidad efectiva en este tipo de energía fue de 25,6 MW lo que representó el 0,34 % de la capacidad total del país, habiendo producido 35,3 GWh/año equivalente al 0,15 % de la producción total de energía.

Es recomendable incorporar un incentivo a la inversión en energía fotovoltaica en el país, como criterio de tecnología amigable con el ambiente, para aprovechar los adecuados niveles de insolación existentes en el Ecuador, a tal punto de que se convierta en una fuente energética competitiva frente a las tecnologías convencionales conducente al desarrollo sostenible de la economía.

Metodología

La presente investigación se realizó desde una perspectiva cualitativa de análisis de contenido temático, en el entendido que se elabora a partir de una revisión bibliográfica, donde la realidad captada se vuelve un conocimiento a partir de la interpretación de la información que ofrecen las fuentes documentales que la conforman. Según (Ruíz, 2012), el estudio cualitativo debiese cumplir con ciertas características propias desde la reconstrucción de significados, intentando interpretar y captar significados particulares y relevantes a los hechos, de manera metafórica y conceptual a partir del relato de los sujetos. En este caso, la reconstrucción e interpretación de los significados de las fuentes bibliográficas consultadas está referida a exponer algunas consideraciones y reflexiones acerca del uso de los inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica como una innovación tecnológica con miras a favorecer al medio ambiente.

Método

El método empleado para el análisis de las fuentes documentales es el inductivo, el mismo permitirá la reflexión y profundización del contenido teórico de interés. En este contexto, (Flick, 2015) expone “el proceso de investigación cualitativa es inductivo, los conceptos y categorías de análisis surgen conforme se profundiza en el estudio (p.13).

Diseño de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo bajo un diseño de análisis de contenido cualitativo. (Couture, 1975), concibe el análisis de contenido como el estudio realizado en el documento con el fin de extraer las características de su contenido (p.54).

Muestra documental

En términos metodológicos, la unidad de análisis se objetualiza como documento, según (Valles, 2000) se entiende como documento “cosas que podemos leer y que se refieren a algún aspecto del mundo social”(p.120). Para el caso, que ocupa este estudio, los documentos que conformaron la base del análisis documental quedó conformada por producciones científicas tales como artículos de investigación, trabajos de grado de maestría o tesis doctorales publicados entre 2018 y 2021 elaborados en idioma español, publicados en la base de datos de Google académico, revistas indexadas como “Scielo”, “Redalyc” “Dialnet”, entre otras y repositorios digitales de diversas universidades nacionales e internacionales. En total fueron seis (06) fuentes bibliográficas las que terminaron siendo sistematizadas para el respectivo análisis de contenido.

Procedimiento de análisis para la muestra documental

Una vez seleccionada la unidad de análisis de muestreo en las diversas bases de datos digitales, se procedió a generar un listado con los títulos, resumen y palabras claves de los trabajos publicados. Para asegurar una selección adecuada se emplearon descriptores como “tecnología ambiental” “energía renovables” “energía solar fotovoltaica” “inversores inteligentes” Como forma de realizar el proceso de reflexión teórica se empleó como estrategia el análisis de contenido.

En consecuencia se elaboró una tabla o matriz documental para la reducción de la información mediante un procesamiento inferencial e interpretativo con el objeto de que el análisis sea sustentado en términos técnicos, teóricos y epistemológicos.

Resultados y Discusión

Para el análisis de la información

Se elaboró una matriz documental conformada de los trabajos previos consultados, los cuales se organizaron en orden descendente del año de publicación, en la cual se reflejaron las principales conclusiones y/o resultados, resultantes del proceso de investigación de los autores citados. Luego de este análisis se realizó la discusión de los resultados, proceso que consistió en la contrastación de las principales ideas planteadas por los investigadores, buscando establecer comparaciones.

Tabla 1. Matriz Documental Basada en las Fuentes Documentales Consultadas por Año de Publicación

Autor/año	Título	Tipo de documento	Resultados/conclusiones
(Merchán, 2021)	Rentabilidad de la implementación de paneles fotovoltaicos en relación con el consumo promedio por vivienda en las 4 regiones naturales del Ecuador	Artículo de investigación Universidad Católica de Cuenca. Ecuador	Las construcciones más autosustentables en las viviendas actuales, tales como son los paneles fotovoltaicos, suponen medidas fundamentales para contrarrestar los efectos negativos debido al desarrollo económico, causados a todos los ecosistemas y el consumo indiscriminado de gran parte de los recursos naturales,. En cuanto a la generación de energía en nuestro país está en su apogeo, por lo que no es necesario instalar paneles fotovoltaicos en lugares donde se genera electricidad de forma sostenible, salvo electricidad asequible. Sin embargo, la efectividad de implementar estos sistemas radica en áreas donde no se puede acceder a ellos.

(Callasi , 2020)	Impactos por la Integración de la Generación Distribuida con Energía Solar Fotovoltaica en Redes de Media Tensión de la Ciudad del Cusco	Tesis Doctoral Universidad Andina del Cusco. Perú		Se determinó que los módulos de paneles solares dimensionados en proporción del modelo comercial de 250Wp, corresponde a los requerimientos de potencia, proveyendo beneficios de distinta índole, de acuerdo con los hallazgos de la simulación eléctrica, que conllevan a la inclusión de una forma de producción de energía en sitio para alimentar una demanda en proporciones de incremento lineal y contribuir significativa a la contención del calentamiento global identificado.
(Sandoval, 2020)	Arreglo Inteligente de Concentración Solar FV para MPPT usando Tecnología FPGA	Artículo de investigación Universidad de Carabobo, Venezuela.	de	Gracias al modelo de optimización sobre arreglos de concentración solar Fotovoltaica (FV) para el punto de máxima potencia (MPPT), cimentada en los métodos basados en redes neuronales artificiales (ANN), arreglos con estructura Linear Feedback Shift Register (LFSR) y algoritmos adaptativos responsables del ajuste de los coeficientes del sistema, se ha logrado dotar de inteligencia al Sistema Solar Fotovoltaico (SFV), aplicando circuitos de procesamiento paralelo y reconfiguración dinámica del arreglo, lo que introduce una mejora en el aprovechamiento de las condiciones de irradiancia, horas de sol pico (HSP), modificación espectral, control de temperatura de los módulos FV, realimentación de componentes de energía residual, para elevar el rendimiento total, a través de la contribución de cada etapa.
(Cortés, Gómez, Betancur, Carvajal, & Guerrero, 2020)	Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales	Artículo de investigación Universidad Nacional de Colombia, Colombia	de	Para los once meses de prueba, la generación de energía total dada por el arreglo fotovoltaico con microinversores o con inversor centralizado cubrió los 499 kWh anuales de consumo para un colombiano en el sector residencial. La generación total acumulada para el arreglo fotovoltaico con microinversores fue de 691 kWh y para el arreglo con inversor centralizado fue de 593,2 kWh.
(González, Cárdenas, & Álvarez, 2019)	Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica	Artículo de investigación	de	En el Centro de Investigación y Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UASLP, se

(Ponce, 2019)	La energía solar fotovoltaica distribuida y las smart grid como modelo para diversificar la matriz energética de Ecuador	Tesis Doctoral Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). España	<p>investiga cómo mejorar la confiabilidad en la operación de los sistemas fotovoltaicos y se desarrollan algoritmos de diagnóstico de fallas que permitan no sólo detectar cuándo falla el inversor, sino que además provea una localización automática del componente que falló. Otro tema de investigación que se aborda para otorgarle inteligencia al inversor, es que éste pueda interactuar con una red eléctrica inteligente, pudiendo ésta ordenarle inyectar total o parcialmente la potencia generada por el sol, y de controlar la cantidad de potencia reactiva y de contaminación armónica que compensará.</p> <p>Se ha determinado que actualmente la energía solar fotovoltaica no es competitiva en el contexto ecuatoriano. Se ha propuesto un plan de ajustes económicos en el que los subsidios a los combustibles fósiles para producir electricidad se transfieren para impulsar la energía solar fotovoltaica. A través de este plan, se podría conseguir que esta tecnología sea competitiva en el país, además de lograr importantes ahorros para el estado ecuatoriano.</p>
---------------	--	---	---

Fuente: Elaboración propia (2022)

Discusión

Después de realizar el análisis de la información sobre los inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica, se deja entrever que diversos autores consultados enfatizan en la necesidad utilizar la energía solar fotovoltaica debido a las ventajas que ofrece, así, (Merchán, 2021) señala que resulta efectivo instalar paneles fotovoltaicos en áreas donde no se puede acceder a electricidad; por su parte (Callasi, 2020) subraya el hecho de que los módulos de paneles solares contribuyen de forma significativa a la contención del calentamiento global; por otro lado (Ponce, 2019), considera que impulsar la energía solar fotovoltaica podría conseguir que esta tecnología sea competitiva en el país, además de lograr importantes ahorros para el estado ecuatoriano.

El grueso de la información que se incluyó en este análisis, da cuenta de la significancia de incluir la energía fotovoltaica como parte sustancial para la generación de electricidad por los beneficios

que trae consigo este tipo de energía renovable, tales como: es una energía limpia y por tanto amigable con el medio ambiente, puede contribuir a electrificar regiones remotas, todo lo cual conlleva a elevar la calidad de vida de los pobladores, así también, se hace énfasis en el posible ahorro que representa para el gobierno nacional el uso de esta tecnología en el país.

Dado que, los inversores solares son una de las piezas fundamentales en los sistemas fotovoltaicos, pues como ya se hizo mención a lo largo del desarrollo del presente estudio, son los encargados de transformar la corriente directa en corriente alterna para que pueda ser utilizada en las empresas y hogares, en época reciente se han venido desarrollando tecnologías para incorporan al sistema inversores inteligentes, cuya función va más allá de la señalada dándose el caso como dice (Santoyo, 2020) de que ahora controlan y diagnostican la salud de los sistemas fotovoltaicos, lo que hace que el sistema sea inteligente. En esta línea las incursiones tecnológicas en opinión de (Sandoval, 2020) giran en torno a optimización sobre arreglos de concentración solar Fotovoltaica (FV) para el punto de máxima potencia (MPPT), cimentada en los métodos basados en redes neuronales artificiales (ANN), arreglos con estructura Linear Feedback Shift Register (LFSR) y algoritmos adaptativos responsables del ajuste de los coeficientes del sistema, se ha logrado dotar de inteligencia al Sistema Solar Fotovoltaico (SFV).

Dentro de este marco, (Cortés, Gómez, Betancur, Carvajal, & Guerrero, 2020), aducen que la generación de energía total dada por el arreglo fotovoltaico con microinversores o con inversor centralizado cubrió los requerimientos anuales de consumo en el sector residencial objeto de estudio. Estomde alguna manera representa una oportunidad de adelantar trabajos de electrificación calidad mediante el aprovechamiento de la tecnología de inversores inteligentes. Adscrito a esto (González, Cárdenas, & Álvarez, 2019) subrayan las investigaciones que se llevan a cabo orientadas a mejorar la confiabilidad en la operación de los sistemas fotovoltaicos y se desarrollan algoritmos de diagnóstico de fallas que permitan no sólo detectar cuándo falla el inversor, sino que además provea una localización automática del componente que falló. Además de ello, destacan los estudios que se siguen para otorgarle inteligencia al inversor, que éste pueda interactuar con una red eléctrica inteligente, pudiendo ésta ordenarle inyectar total o parcialmente la potencia generada por el sol, y de controlar la cantidad de potencia reactiva y de contaminación armónica que compensará.

No obstante a lo expuesto, es notable que en el país ecuatoriano a pesar de contar con una ubicación geográfica inmejorable para el aprovechamiento cabal de la energía fotovoltaica, a decir de (Ponce,

2019), se ha determinado que actualmente la energía solar fotovoltaica no es competitiva en el contexto ecuatoriano, por tanto, el hecho de contar con un plan de subsidios para impulsar la energía solar fotovoltaica, podría conseguir que esta tecnología sea competitiva en el país, además de lograr importantes ahorros para el estado ecuatoriano.

Se traduce de lo presentado por los autores que la introducción de la tecnología fotovoltaica inteligente al momento actual, es fundamental, de gran significancia y utilidad para el sector eléctrico nacional debido a que conduce por un lado a evitar introducciones de problemas ambientales en línea con el desarrollo económico sustentable, y por el otro es un elemento garantizador para diversificar y apoyar la transición energética que se viene adelantando en el país desde hace ya varios años.

Conclusiones

El desarrollo de tecnologías amigables para el medio ambiente es un factor fundamental para el crecimiento económico sustentable y social de cualquier país, lo cual da como resultado una reducción de las emisiones de gases de invernadero y que se eviten los impactos del calentamiento global.

En esta visión, se han venido desarrollando diversas herramientas y servicios, entre los cuales se tienen los inversores solares inteligentes como elemento primordial para un sistema solar fotovoltaico, pues no solo se encargan de convertir la corriente directa variable de los paneles solares en corriente alterna, que puede ser utilizada en las empresas o en las viviendas, sino que además tiene entre otras funciones la compensación de potencia reactiva; el diagnóstico de las fallas en tiempo real y la gestión más eficiente de energía. Todo lo cual conlleva a mejores resultados maximizando la cantidad de potencia generada por el sistema fotovoltaico.

Lo anterior tiene importancia a razón de que, la integración y penetración de fuentes de energía provenientes de los recursos renovables cada vez más eficaces para sustituir los sistemas convencionales de generación mediante los combustibles fósiles, es un imperativo mundial debido a su impacto sobre el ambiente.

En Ecuador se ha implantado un plan para transformar la matriz energética del país y, en este propósito, las energías renovables juegan un rol preponderante, especialmente, la energía fotovoltaica por las ventajas que ofrece para enfrentar las demandas de generación energética,

tomando en cuenta el desarrollo sustentable de la nación y la protección medioambiental de cara a un futuro donde se privilegia el bienestar general de la población y el entorno donde se desenvuelve.

Referencias

1. Alvarado, J. (2018). Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica Aislada. *Universidad Politécnica de Madrid. Trabajo de Titulación.* https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf, pp.90.
2. Área Tecnología. (2012). Inversor Fotovoltaico. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>.
3. Arencibia, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria. Volumen 17. N° 9. Málaga, España.* <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63647456002>, pp.1-4.
4. Arla, S., Tapia, M., & Guasumba, J. (2017). Validación del Recurso Solar en el Ecuador para Aplicaciones de Media y Alta Temperatura. *INNOVA Research Journal. Vol 2, No. 7. ISSN 2477-9024.* [Dialnet-ValidacionDelRecursoSolarEnElEcuadorParaAplicacion-6069986.pdf](https://www.dialnet.org/ver?id=6069986), pp.34-45.
5. Arroyave, J., & Garcés, L. (2006). Tecnologías ambientalmente sostenibles. *Producción + Limpia. Vol. 1 No. 2.* http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/513/1/pl_v1n2_78-86_tecnolog%C3%ADas.pdf, pp.1-9.
6. Barberá, S. (2015). Introducción a la Energía Fotovoltaica. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>, pp.1-20.
7. Callasi, J. (2020). Impactos por la Integración de la Generación Distribuida con Energía Solar Fotovoltaica en Redes de Media Tensión de la Ciudad del Cusco. *Universidad Andina del Cusco. Perú. Tesis Doctoral.* https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3564/Jose_Tesis_doctorado_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y, pp.191.

8. Cavazos, B. (2020). La tecnología en la protección del medio ambiente. *Monitor Educativo*. <https://monitoreducativo.com/2020/05/01/borrador-ala-tecnologia-en-la-proteccion-del-medio-ambienteautomatico/>, pp.1-10.
9. CENACE. (2020). Redes Inteligentes de Energía Eléctrica. *Centro Nacional de Control de Energía de México CENACE*. <https://www.cenace.gob.mx> .
10. Cortés, C., Gómez, G., Betancur, F., Carvajal, S., & Guerrero, N. (2020). Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales. *TecnoLógicas*, vol. 23, núm. 47. Instituto Tecnológico Metropolitano. Colombia. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/3442/344262603016/html/index.html>, pp. 3-23.
11. Couture, R. (1975). *Manual de Técnicas de Documentación*. Buenos Aires, Argentina: Marymar.
12. Deloitte Insights. (2018). Tendencias globales de las energías renovables. Las energías solar y eólica se convierten en las tecnologías de generación con mayor atractivo de inversión. *Deloitte Development LLC*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/energia/Deloitte-ES-tendencias-globales-energias-renovables.pdf>, pp.34.
13. Ding, D. (2021). Aplicaciones de Energía Renovable. *Growatt*. <https://www.growatt.mx/show-35-42.html>.
14. Flick, U. (2015). *El diseño de Investigación Cualitativa*. Madrid, España: Ediciones Morata.
15. García López, I. (2009). Sistema Generador conectado a Red de 100 Kw Mediante Energía Solar Fotovoltaica Aplicado a una Nave Industrial. *Universidad Carlos III de Madrid. Proyecto de Fin de Carrera ITI*, pp.94.
16. Gonzales, V. (2020). Tecnología de inversores en sistemas fotovoltaicos. *CITE energía. Artículo Técnico. Ancón, Lima - Perú*. http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/07/Ing.-Victor-Gonzales-Zamora_compressed.pdf, pp.1-5.
17. González, M., Cárdenas, V., & Álvarez, R. (2019). Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica. *Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP)*. <http://www.uaslp.mx/Comunicacion-Social/Documents/Divulgacion/Revista/Dieciseis/238/238-05.pdf>, pp.24-29.

18. Grijalva, C., & Vélez, F. (2020). Estudio e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Aplicado a Luminarias: Caso de Estudio Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero. *Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador. Trabajo de Titulación.* <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18646/4/UPS-GT002920.pdf>, pp.97.
19. Guardiola, R. (2008). Diseño y Cálculo de una Instalación fotovoltaica de 1,1 MW. *Universidad Rovira I Virgili, Departamento de Ingeniería Electrónica y Eléctrica. Trabajo de titulación*, pp.90.
20. IRENA. (2019). Panorama de la innovación para un futuro impulsado por las energías renovables: soluciones para integrar las energías renovables variables. Resumen para responsables políticos. *International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi*, pp.32.
21. Merchán, D. (2021). Rentabilidad de la implementación de paneles fotovoltaicos en relación con el consumo promedio por vivienda en las 4 regiones naturales del Ecuador. *Ciencia Digital. Vol. 4. Núm. 3. DOI: https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.1762. https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/view/1762.*
22. Muñoz, C. (2021). Dimensionado y análisis de viabilidad de una instalación fotovoltaica con conexión a red en el sector agropecuario. *Universidad de Sevilla. Trabajo Fin de Grado.* <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/128804/TFG-3871-MU%C3%91OZ%20GALINDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, pp.114.
23. Muñoz, J., Rojas, M., & Barreto, C. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, núm. 19. doi: https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06.* , pp. 7-13.
24. Orellana, G., & Orellana , M. (2015). Estimacion de la Radiacion Solar Cantón Cuenca Mediante la Aplicacion del Modelo Bristow y CampBell. *Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca , Ecuador. Trabajo de Titulación.* <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>.
25. Ponce, M. (2019). La energia solar fotovoltaica distribuida y las smart grid como modelo para diversificar la matriz energética de Ecuador. *Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).España.Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.Tesis*

- Doctoral.* http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:ED-Pg-TecInd-Maponce/PONCE_JARA__Marcos_Antonio_Tesis.pdf, pp.242.
26. Ruíz, J. (2012). *Metodología de la investigación cualitativa*. Bilbao: Universidad de Deusto.
27. Sandoval, C. (2020). Arreglo Inteligente de Concentración Solar FV para MPPT usando Tecnología FPGA. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*. Vol. 43, No. 3. <https://doi.org/10.22209/rt.v43n3a02.Downloads/33748-Texto%20del%20artículo-56457-1-10-20200904.pdf>, pp.122-133.
28. Santoyo, K. (2020). Un sistema fotovoltaico completamente conectado y digital. <https://www.linkedin.com/pulse/un-sistema-fotovoltaico-completamente-conectado-y-digital-santoyo/?originalSubdomain=es>.
29. Valles, M. (2000). *Técnicas cualitativas de investigación social*. Madrid, España: Editorial Síntesis.
30. Vanek, F., Albright, L., & Angenent, L. (2012). *Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation*. McGraw-Hill Professional, second edition.