

La fotovoltaica en el sector del comercio. Fase inicial del proyecto

Photovoltaics in the commerce sector. Initial phase of the project

Roberth Patricio –Lara Mendoza^I, María –Rodríguez Gámez^{II} *

^IGobierno Autónomo Descentralizado del Municipal de Portoviejo, Ecuador

^{II}Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

*Autor de la correspondencia: maria.rodriguez@utm.edu.ec

Recibido: 25 de octubre de 2023 Aprobado: 29 de noviembre de 2023

Este documento posee una [licenciaCreativeCommonsReconocimiento-NoComercial4.0internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) 

RESUMEN/ABSTRACT

La investigación expone la fase inicial de un proyecto para la introducción de la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión de los usuarios. El artículo se estructuró de una manera tal que se demostró el cumplimiento del objetivo de la investigación y la verificación de la hipótesis. Se aplicó el método deductivo, la observación, la investigación es cualitativa, se utilizó la revisión bibliográfica relacionada con el aprovechamiento del potencial solar mediante la introducción de la tecnología fotovoltaica conectada a la red. Se utilizó el software QGIS para la gestión de datos espaciales y el manejo de los datos del potencial solar. Se tuvo como resultados un examen del consumo de energía por parte del sector estudiado y se analizaron las repercusiones vinculadas con la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión.

Palabras clave: autoconsumo de energía; económicas y socioambientales; generación distribuida; repercusiones energéticas, tecnología fotovoltaica conectada a la red.

The research exposes the initial phase of a project for the introduction of photovoltaic technology connected to the users' low voltage network. The article was structured in such a way that the fulfillment of the research objective and verification of the hypothesis was demonstrated. The deductive method was applied, observation, the research is qualitative, the bibliographic review related to the use of solar potential through the introduction of photovoltaic technology connected to the grid was used software QGIS was used for spatial data management and solar potential data management. The results were an examination of energy consumption by the sector studied and the repercussions linked to photovoltaic technology connected to the low voltage grid were analyzed.

Keywords: energy self-consumption; distributed generation; energy, economic and socio-environmental repercussions; grid connected photovoltaic technology.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la energía se examinan, analizan y explican las razones para ejecutar proyectos de inversión y se valora el aporte energético, económico y socioambiental derivado del mismo. Como resultado se puede usar la información para obtener la aceptación de los participantes y financistas. El servicio eléctrico es uno de los recursos más utilizados en interés del desarrollo socioeconómico. Es un elemento de importancia vital para el desarrollo, sin embargo, su gestión inadecuada puede traer como consecuencia sinergias no deseadas para la economía, el ambiente y la sociedad, que ponen en entredicho la estabilidad de la vida en la Tierra [1].

Cómo citar este artículo:

Roberth Patricio Lara Mendoza y María Rodríguez Gámez. La fotovoltaica en el sector del comercio. Fase inicial del proyecto. Ingeniería Energética. 2024. 45 (1), enero/abril. ISSN: 1815-5901.

Sitio de la revista: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index>

Durante la segunda mitad del siglo XX el uso de los recursos energéticos no renovables para la generación de energía continuó en aumento y el escenario de las nuevas políticas energéticas plantea que la demanda aumentará y se puede incrementar un tercio de 2010 a 2035 [2]. El uso de los combustibles fósiles es responsable de más del 80% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera y es un elemento desencadenante del calentamiento global. Para finales del siglo XIX el nivel de CO₂ en la atmósfera era entre 180 a 280 ppm y en poco más de cien años se ha elevado a 400 ppm, situación que si no se controla puede generar una verdadera catástrofe climática [3, 4].

El incremento de la dependencia excesiva de los recursos no renovables ha propiciado el agotamiento de sus reservas. Se calcula que el suministro de petróleo podría fallar para el año 2037 [5]. A criterios de [6], para responder a los impactos naturales se requiere elevar el compromiso social que apuesta por un esquema energético sostenible, libre del uso de los combustibles fósiles, que potencie entre otros elementos el uso de las fuentes renovables de energía. En los últimos años se habla con fuerza que las fuentes renovables de energía pueden reemplazar los combustibles fósiles y no se deben producir más impactos que aceleren el cambio climático. Como ventaja adicional se plantea el beneficio a las condiciones ambientales [7].

La radiación solar que llega al plano horizontal terrestre es la principal fuente de energía primaria. Se puede transformar en energía eléctrica por conversión fotovoltaica. Prácticamente es inagotable, no contaminante, está distribuida territorialmente y su disponibilidad potencial es muy superior a las necesidades energéticas del hombre [8]. La energía solar no produce dióxido de carbono y por lo tanto no contribuye al calentamiento global. Lo más importante es que a diferencia de los combustibles fósiles no se acabará mientras exista el hombre en el planeta [9]. El gobierno ecuatoriano apuesta por el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en varios sectores del país. Sin embargo, el aporte de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión en el modo de la generación distribuida [10], aún es pobre y no se comprende adecuadamente su esencia y objetivos.

Para obtener los resultados esperados en un proyecto fotovoltaico se deben considerar determinados factores, que deben ser estudiados y analizados al detalle, como son: la eficiencia energética del sistema fotovoltaico a instalar; su dimensionamiento tecnológico; el potencial promedio de la energía solar diaria promedio anual; el ángulo de inclinación de los módulos; el nivel de sombreado presente en el área; la calidad y características de la tecnología que está en la oferta del mercado; la evaluación de los posibles daños ocasionados por desastres naturales; y demás aspectos que de forma particular se deben analizar [11]. En el informe de Petroenergía del año 2021 se expone que las emisiones de CO₂ producto de la generación de electricidad han disminuido. El factor de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en el año 2020 fue de 0.3834 g/kWh lo que significa que se incrementó la producción de electricidad con base a tecnologías más amigables con el ambiente [12].

La generación de electricidad en la provincia de Manabí depende del uso del petróleo mediante un sistema centralizado poco eficiente y muy costoso. Figura entre las mayores consumidoras de energía eléctrica en el País y presenta las mayores pérdidas. Ello supone una influencia ambiental y económica negativa para el consumo de energía, pues por cada MWh de electricidad generada con plantas térmicas, se pueden estar emitiendo hasta 0.383 t de CO₂ a la atmósfera, al propio tiempo que el petróleo resulta un recurso que presenta precios muy inestables con una tendencia alcista en el mercado, propiciando que el servicio eléctrico sea ineficiente y costoso [12]. La empresa eléctrica considera lograr un impacto social relevante mediante el incremento de la oferta de energía y a pesar del uso de diversas tecnologías destinadas a garantizar un servicio de calidad, este último objetivo se logra a un elevado precio económico y ambiental, pues cada vez son más numerosas las tecnologías que se incorporan sin conseguir totalmente lo objetivos propuestos [13, 14].

El sector comercial y los servicios en la provincia de Manabí constituye uno de los principales centros de consumo de electricidad del cantón y experimenta su mayor demanda durante las horas del día cuando la energía solar se encuentra disponible para su aprovechamiento. El precio promedio de la energía servida oscila entre los 0,10-0,15 USD/kWh, lo que supone una factura eléctrica mensual elevada que se puede reducir mediante el aprovechamiento de la energía solar [15]. Para el sector del comercio y los servicios de la provincia de Manabí el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en el modo de la generación distribuida representa una oportunidad clave. El territorio está considerado entre los más consumidores de electricidad con un bajo nivel de eficiencia y se muestra una tendencia gradual en el incremento de la demanda de energía para los próximos años [14].

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son capaces de garantizar el suministro de energía de modo autónomo, para reducir la dependencia de las importaciones de combustible y al propio tiempo crear riquezas y empleos a escala local [15]. El problema de investigación consiste en: ¿Cómo determinar la pertinencia y viabilidad de la tecnología fotovoltaica conectada a la red en el modo de la generación distribuida, para lograr disminuir el consumo de la red eléctrica convencional, reducir el monto de la factura del servicio eléctrico y elevar la imagen ambiental del sector del comercio y los servicios de la provincia de Manabí?

El objetivo de la investigación consiste en aportar los resultados del estudio de fase inicial de proyecto para la introducción de la tecnología fotovoltaica en el sector del comercio y los servicios de la provincia de Manabí, con la finalidad de propiciar la preservación de recursos naturales, la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera y la disminución de la factura eléctrica a los usuarios finales. Los resultados de la investigación permitirán conocer la pertinencia y viabilidad del uso de la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión de los usuarios en el sector del comercio y los servicios de la provincia de Manabí, como una solución de eficiencia energética, ahorro de recursos naturales y la protección ambiental, que favorece el desarrollo sostenible del territorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se muestra un estudio en fase inicial del proyecto para valorar la introducción de la tecnología fotovoltaica en el modo de la generación distribuida de cara al usuario, en las instalaciones del sector de comercio y los servicios de la provincia de Manabí, con la pretensión de reducir el consumo de la electricidad que se suministra por la red convencional, propiciar medidas de preservación de recursos naturales, reducir el monto de la factura eléctrica de las entidades comerciales y de servicios, contribuir a la preservación del ambiente y lograr una mayor vinculación de la sociedad con la gestión energética.

Se utiliza el método deductivo para ahondar en el examen del problema científico, la eficiencia energética, las consecuencias ambientales derivadas del suministro de energía al sector comercial y los servicios en la provincia de Manabí, el examen de las teorías vinculadas con la energía fotovoltaica, el ahorro de recursos naturales y las ventajas asociadas con la penetración de la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión de los usuarios, el análisis de la información primaria y datos estadísticos disponibles, que permitirán llegar a conclusiones precisas sobre el tema que se estudia [16].

La investigación es de tipo descriptiva, por cuanto describe las particularidades asociadas al consumo de energía por parte del sector del comercio y los servicios en la provincia y sus repercusiones, así como se analiza la posibilidad del aprovechamiento del potencial solar en el modo de la generación distribuida, para mitigar las consecuencias derivadas del suministro energético al sector comercial y los servicios en el territorio. La observación que permitirá realizar un acercamiento a la evolución de la demanda de energía del sector del comercio y los servicios en la provincia de Manabí.

El diseño técnico de los sistemas fotovoltaicos conectada a red en la modalidad de autoconsumo y sus resultados. Se presentará una investigación cualitativa que permitirá la realización de una exploración y comprensión de la gestión energética y el impacto socioambiental mediante la recopilación y análisis de datos e información primaria, así como la identificación de patrones relacionados que son significativos en los datos recopilados [16].

Como instrumentos de investigación se utilizará el sistema de información geográfica para el desarrollo sostenible de la provincia de Manabí (SIGDS) (<http://geoportal.utm.edu.ec/>) que permitirá el examen de la información relacionada con el potencial solar de la provincia de Manabí. Como instrumento de gestión geoespacial se utilizará el QGIS, que permitirá la gestión de la información espacial relacionada con el potencial solar de la provincia de Manabí y que servirá para estimar los resultados energéticos de la tecnología fotovoltaica, el costo del kWh generado, las pérdidas evitadas y el posible ahorro de combustible fósil. Se utilizará el sistema de ecuaciones reflejadas en el libro académico titulado La Energía Solar en la Provincia de Manabí de la editorial UTM [15], con el objetivo de realizar los cálculos correspondientes a la fase inicial del proyecto fotovoltaico conectado a la red en el modo de autoconsumo.

RESULTADOS y(o) DISCUSIÓN

El potencial solar en la provincia de Manabí

El hecho de tener información sobre el comportamiento de la radiación solar en el territorio constituye un apoyo relevante que puede impulsar la introducción de las tecnologías renovables en interés del desarrollo local sostenible [17, 18]. De acuerdo con la información reflejada en el proyecto SIGDS [15], se puede apreciar que al noreste de la provincia el potencial solar promedio anual presenta una leve disminución con valores entre 3,780-4,552 kWh/m² día.

El resto del territorio presenta valores entre 4,552-5,710 kWh/m² día. Se puede afirmar que de modo general el potencial solar del territorio es apto para la generación de energía eléctrica de manera ininterrumpida todo el año. En la tabla 1, se exponen los valores del potencial solar global promedio anual de la provincia de Manabí por meses del año.

Tabla 1. Valores del potencial solar global promedio anual de la provincia de Manabí por meses del año

Concepto	Prom. anual	Meses del año											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Potencial solar promedio anual (kWh/m ² día)	4,601	4,982	4,977	5,526	5,409	4,867	3,93	3,753	4,056	4,312	4,269	4,367	4,758

Fuente: Elaboración propia a partir del proyecto SIGDS [15]

El conocimiento de los valores del potencial solar en la provincia de Manabí permite realizar los cálculos sobre los valores de su aprovechamiento energético. Para los efectos de la investigación se considera la tecnología del silicio monocristalino de los módulos fotovoltaicos. En la figura 1, se muestra un mapa que refleja el potencial solar diario promedio anual de la provincia de Manabí.

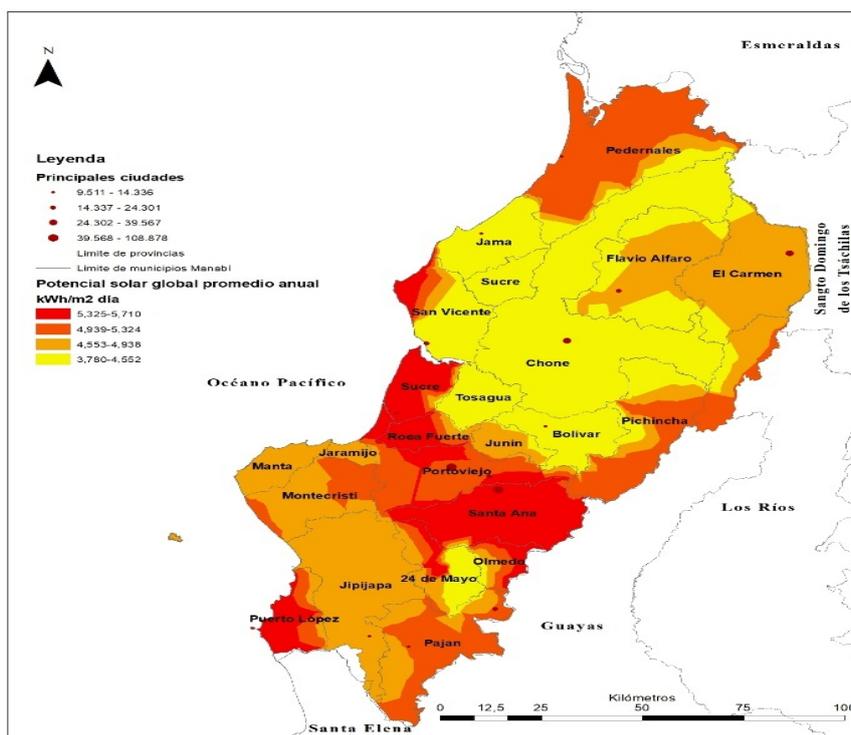


Fig. 1. Potencial solar global promedio anual de la provincia de Manabí. Fuente: elaboración propia a partir de información del proyecto SIGDS [15], [18]

Para el cálculo de la productividad normalizada a partir del potencial solar global promedio anual en la provincia de Manabí se utilizó la ecuación (1), [15].

$$P_n = P_{sa} \cdot P_{fv} \cdot Acc \cdot \eta_t \cdot \eta_c \quad (1)$$

donde: P_n es productividad normalizada (kWh/kWp día); P_{sa} el potencial solar promedio anual (kWh/m² día); P_{fv} potencia fotovoltaico (kWp); Ac el área de captación solar de las células fotovoltaicas (6,4m²); η_t es eficiencia técnica de los módulos (cuando se trata del silicio policristalino es igual a 0,13.

Si se trata del silicio monocristalino es igual al 0,16); η_c la eficiencia promedio de captación de la radiación durante el ciclo de vida (0,86). Para el cálculo de la productividad específica a partir del valor de la productividad normalizada en la provincia de Manabí, se utilizó la ecuación (2), [15].

$$P_e = P_n \cdot A_{op} \quad (2)$$

donde: P_e es la productividad específica (kWh/kWp año); P_n la productividad normalizada (kWh/kWp día); A_{op} el año de operación de la tecnología fotovoltaica (año=365 día).

Los resultados de los cálculos realizados permiten estimar que, con el aprovechamiento del potencial solar global promedio anual de la provincia de Manabí mediante la introducción de la tecnología fotovoltaica de silicio monocristalino, se puede lograr la generación de 4,051 kWh/kWp día y que en el año se puede obtener como promedio una generación promedio equivalente de 1.478,6 kWh/kWp año. Si se conoce que la tecnología fotovoltaica de silicio monocristalino tiene un ciclo de vida equivalente a 25 años, se puede calcular la productividad para el ciclo de vida, mediante la ecuación (3), [15].

$$P_{cv} = P_e \cdot cv \quad (3)$$

Donde: P_{cv} es la productividad energética en el ciclo de vida (kWh/kWp cv); P_e es la productividad específica (kWh/kWp año); cv el ciclo de vida de la tecnología fotovoltaica de silicio monocristalino (25 años).

El resultado de los cálculos realizados permitió estimar que en el ciclo de vida de la tecnología fotovoltaica de silicio monocristalino instalada para aprovechar el potencial solar global promedio anual de la provincia de Manabí se puede obtener una productividad promedio de 36.965 kWh/kWp cv. Se parte del concepto que una instalación fotovoltaica conectada a la red en el modo de la generación distribuida consiste en la incorporación de elementos de generación, para cubrir las cargas de baja tensión del usuario, que se localizan en una determinada área geográfica [19].

Crecimiento del sector del comercio y los servicios de la provincia y el consumo de energía

En la figura 2, se muestra un gráfico que refleja la evolución temporal en 20 años, de la cantidad de clientes registrados para recibir el servicio de electricidad en el sector del comercio y los servicios de la provincia de Manabí, en el período comprendido entre el año 1999 al 2019.

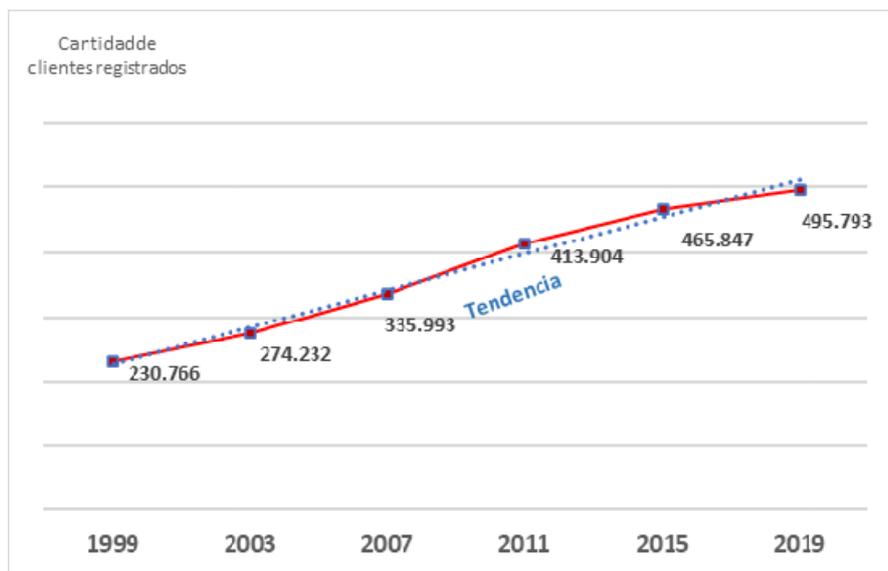


Fig. 2. Clientes registrados del servicio eléctrico en el sector comercial y servicios de la provincia. Fuente: elaboración propia a partir de información de [14]

Se puede apreciar que en los 20 años analizados se experimentó una tendencia al incremento gradual en la cantidad de clientes registrados del servicio eléctrico del sector del comercio y los servicios de la provincia Manabí. En el año 2019 los clientes registrados del sector se habían incrementado en 2,1 veces la cifra del año 1999, lo que guarda correspondencia con el incremento progresivo de la demanda de electricidad en el territorio. La tendencia inercial marcada por el crecimiento económico de Ecuador entre los años 2007 al 2017, supuso un incremento gradual del consumo de energía eléctrica en los sectores económicos y sociales en la provincia, en especial del sector comercial y los servicios, con una demanda que representa el 28,9% del total del consumo de electricidad de la provincia [14].

En la figura 3, se muestra un gráfico que refleja la tendencia progresiva del consumo de energía eléctrica del sector del comercio y los servicios en la provincia de Manabí, en el período comprendido entre los años 1999 al 2019.

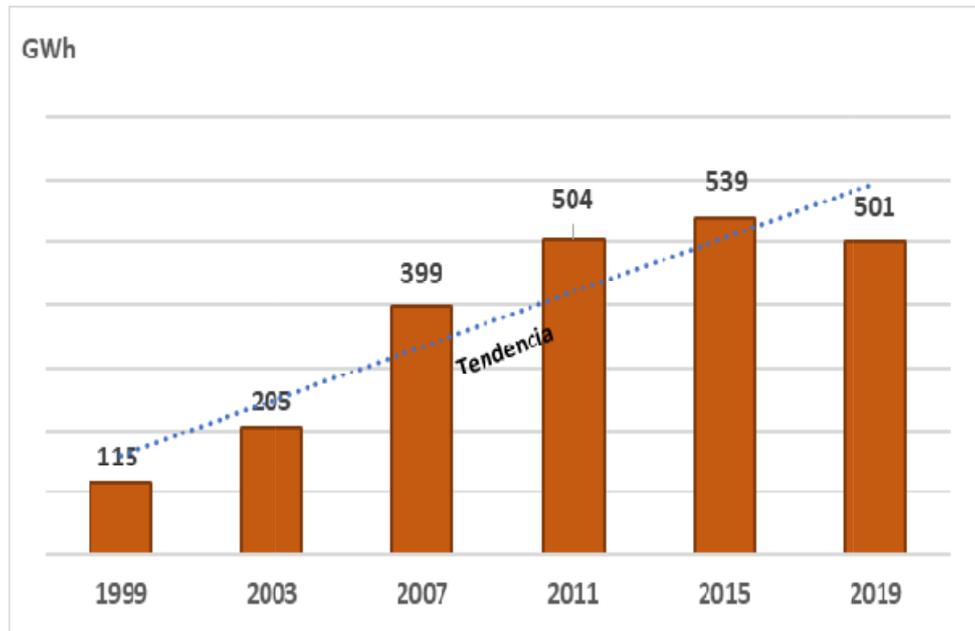


Fig. 3. Consumo de energía eléctrica por el sector del comercio y los servicios de la provincia. Fuente: elaboración propia a partir de [14]

En los 20 años analizados el sector del comercio y los servicios en la provincia de Manabí experimentó una tendencia al incremento en el consumo de energía eléctrica. En el año 1999 la cobertura del servicio eléctrico en la provincia llegaba al 70% en las áreas urbanas y un 30% en el territorio rural. En el año 2019, se había logrado electrificar el 99% del área urbana y el 91% de la rural, lo que supuso un incremento gradual en el consumo de energía eléctrica en el territorio [14]. El Gobierno se había trazado el propósito de extender el servicio eléctrico mediante un grupo de proyectos para materializar la expansión de la generación de electricidad.

En el año 2019, se experimentó una disminución leve en el consumo de energía por parte del sector, debido a la crisis económica estimulada por un grupo de medidas de austeridad impulsadas por el gobierno, que tuvieron un impacto directo en la reducción del consumo de mercancías y productos por parte de la población, con una reducción en la gestión comercial y de servicios de las entidades del sector. Lo reflejado en los análisis anteriores pone de manifiesto la incidencia del consumo de energía eléctrica del sector del comercio y los servicios para la gestión energética de la provincia, por lo que se requiere la búsqueda de alternativas renovables que logren aliviar el peso de la demanda de electricidad que el sector ejerce sobre el sistema de generación y suministro de electricidad en Manabí.

Con la introducción de la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión del usuario, se trata de complementar el suministro de electricidad que realiza el sistema tradicional de distribución, sin embargo las investigaciones realizadas sobre la penetración de las fuentes renovables a la red eléctrica convencional, recomiendan la ejecución de estudios de penetración de la tecnología fotovoltaica a la red eléctrica, con el fin de no sobrepasar la tolerancia técnica de la red donde se conectan los sistemas.

En este sentido los autores [20], señalan que la inobservancia de los límites de penetración a la red por parte de las fuentes renovables puede desencadenar problemas que representan riesgos potenciales de daños para los usuarios, especialmente lo relacionado con el balance del perfil de tensión. Como resultados de la investigación realizada por [21], se conoció la necesidad de estudiar el límite de tolerancia de la red eléctrica para asimilar la introducción a gran escala de potencia fotovoltaica, con una tolerancia mínima de la red entre el 40% y el 50% de la energía que se suministra y entre el 60% y el 70% como tolerancia máxima.

A partir de considerar los estudios realizados por [21], se consideró analizar la introducción de la tecnología renovable para garantizar el suministro de energía limpia hasta un 30% del consumo de electricidad del sector del comercio y los servicios en la provincia de Manabí, lo que representa suministrar hasta 150,3 GWh de energía al año, equivalente a un consumo promedio diario de 411,7 MWh, con un costo promedio de la energía para el sector del comercio y los servicios de 0,13 USD/kWh.

De acuerdo con los estudios de [22], una de las limitaciones que presenta la aplicación de la tecnología fotovoltaica consiste en la capacidad financiera para realizar la inversión. Es por ello recomendable que la penetración fotovoltaica se realice de modo gradual y progresivo, realizando el control y supervisión de los efectos que se manifiestan en la red donde se conectan los sistemas y por otro lado considerar la capacidad financiera del inversionista.

Para los efectos del estudio y al tener en cuenta lo señalado con anterioridad se ha considerado que el 30% de la energía que consumen los usuarios del sector comercial y los servicios se pudiera generar con energía fotovoltaica, instalada en el modo de la generación distribuida para el autoconsumo. En este sentido se puede calcular que se requiere cubrir el consumo diario de 411.700 kWh proveniente del aprovechamiento de la energía solar, para lo que se necesita instalar una capacidad fotovoltaica de módulos monocristalinos equivalente a 101.629 kWp.

Para calcular la potencia fotovoltaica necesaria a instalar para cubrir el 30% del consumo promedio diario de electricidad del sector comercial y los servicios en la provincia de Manabí, se aplicó la ecuación (4), [15].

$$PfvNi = \frac{Ced}{Pn} \quad (4)$$

Donde: PfvNi es potencia fotovoltaica necesaria a instalar (kWp); Ced el consumo de electricidad diaria (kWh día).

El espacio para la instalación de la tecnología constituye un aspecto importante para materializar cualquier proyecto fotovoltaico. De acuerdo con los resultados de la investigación realizada por Rodríguez y Vázquez [15], para la instalación de 1 kWp de tecnología fotovoltaica se requiere un promedio de 12 m². Lo que permite estimar que para la instalación de 101.629 kWp de tecnología fotovoltaica se necesita disponer de 8.469 m². Para calcular el espacio necesario para la instalación de la tecnología se aplicó la ecuación (5).

$$EnPfv = \frac{PfvNi}{Enkp} \quad (5)$$

Donde: EnPfv es el espacio total necesario para la instalación de la tecnología fotovoltaica (m²); Enkp es el espacio necesario para instalar por unidad de potencia fotovoltaica (12 m²/kWp).

Para la instalación de la tecnología fotovoltaica se deben privilegiar los espacios disponibles en las superficies techadas de los edificios e instalaciones comerciales y de servicios, así como la superficie de los parqueos, garajes y pasillos exteriores y cuando sea factible se pueden utilizar áreas en espacios abiertos que no compitan con la producción de alimentos u otra actividad socioeconómica priorizada. Se necesita como requisito indispensable que los espacios designados para instalar la tecnología fotovoltaica no estén afectados por el sombreado durante las horas del día.

La gestión energética bajo los conceptos del sistema tradicional genera pérdidas que afectan la eficiencia del sistema. Los costos del servicio son elevados y se pueden incrementar si se considera la contaminación ambiental generada [23]. Las pérdidas de energía consisten en un fenómeno físico inevitable para cualquier sistema eléctrico [24]. En la provincia de Manabí se producen pérdidas en el proceso de la generación, lo que supone que por cada unidad de energía que se consume por el sector comercial y de servicios en el territorio, se tenga que generar y distribuir más de un kWh de electricidad.

La generación de electricidad requiere el consumo de alguna fuente primaria de energía. En la provincia de Manabí la generación se sostiene en el consumo intensivo de petróleo como fuente primaria, con un índice de consumo equivalente a 250 g/kWh [25], lo que permite estimar que por cada MWh de electricidad se consume una tonelada de petróleo equivalente a 7,6 barriles. En la figura 4, se muestra la evolución de las pérdidas del sistema eléctrico en la provincia de Manabí entre los años 1999 a 2019.

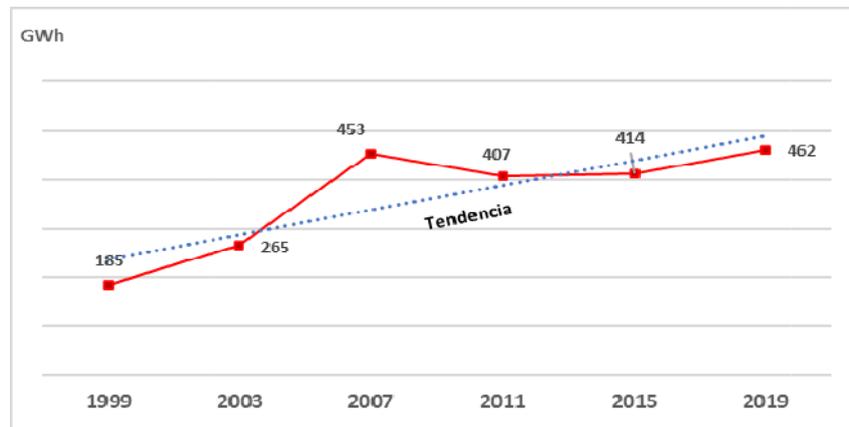


Fig. 4. Evolución de las pérdidas del sistema eléctrico en la provincia. Fuente: elaboración propia a partir de [14]

Entre los años 2007 al 2011 se logró reducir el nivel de las pérdidas de energía en el sistema eléctrico, pero a partir del año 2015 se produjo un incremento con una tendencia en ascenso entre los años 2016 al 2019 [14]. Lo analizado con anterioridad permite estimar que con la introducción de la tecnología fotovoltaica se puede reducir el nivel de pérdidas energéticas asociadas al suministro de electricidad al sector del comercio y los servicios. Las mayores pérdidas de energía en la provincia se producen en la distribución de electricidad que pueden llegar a representar hasta un 18% de la energía generada y distribuida en el sistema convencional [15]. El autoconsumo de energía eléctrica a partir de la generación distribuida con los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión de los usuarios en el sector comercial y de servicios, puede reducir el consumo de energía de la red de distribución convencional y con ello disminuir las pérdidas que se producen en el sistema.

El nivel de tensión de las líneas de distribución en media tensión en la provincia es de 13,8 kV y en baja tensión es de 220-240 V. El factor de potencia permitido es de 0,92. Sin embargo el comportamiento promedio del factor de potencia en el sector del comercio y los servicios sin la penetración fotovoltaica es de 0,8, lo que está motivado por un débil estudio técnico realizado y que ha traído como consecuencia el sobredimensionado de la capacidad de transformación en algunas instituciones [22].

El factor de potencia es uno de los temas que se suele soslayar por la falta de profesionalismo del personal técnico encargado del estudio y diseño de los sistemas eléctricos. Es un tema bien complejo y que desde el punto de vista de un sistema eléctrico puede ser multicausal, que requeriría de un estudio aparte con mediciones puntuales y un análisis específico en cada instalación. Pero se puede señalar que resulta un tema técnico que merece ser apreciado, con el fin de aplicar las medidas correctivas que en cada caso se requiere, por los impactos económicos que tiene para el sector [26].

El factor de potencia es el resultado de la relación entre la potencia activa y la potencia aparente. Indica la eficiencia del aprovechamiento de la energía disponible en un sistema. Un factor de potencia ideal sería igual al 100%, lo que es muy difícil de conseguir en la práctica y sólo se puede lograr una aproximación a lo ideal [27]. Es cierto que la introducción de una potencia fotovoltaica conectada a la red de baja tensión de una instalación comercial, puede crear desbalances en el factor de potencia, al disminuir la demanda de potencia activa del sistema convencional, pero es un problema que se puede resolver mediante la readecuación de la capacidad de transformación y la instalación de bancos de capacitores. Lo que se justifica por los beneficios socioambientales que se derivan del aprovechamiento de la energía solar que ofrece la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión de los usuarios.

La reducción del consumo de petróleo en la generación de electricidad es un aspecto significativo que se puede lograr su reducción, a partir de introducir la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión de los usuarios correspondientes al sector del comercio y los servicios en la provincia. El suministro diario de energía fotovoltaica equivalente a 411,7 MWh día, representa un ahorro de 102,9 t de petróleo diariamente, que en un año permite evitar un aproximado de 37.558,5 t, equivalente a 285.444,6 barriles de petróleo.

Otro de los aspectos significativos vinculados con la introducción de la energía fotovoltaica en el sector comercial de la provincia de Manabí está relacionado con la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Se estima que la generación de electricidad con base en el consumo intensivo de petróleo es una de las principales fuentes emisoras de gases contaminantes a la atmósfera [20]. A partir del factor de emisiones de CO₂ elaborado por la comisión técnica de determinación de factores de emisión de gases de efecto invernadero de Ecuador [12], el factor de emisión de gases derivados de la generación de electricidad en la provincia de Manabí es de 0,27 t CO₂/MWh, lo que permite estimar que la introducción de la tecnología fotovoltaica en el sector del comercio y los servicios en el territorio, puede evitar la emisión de 40.573 t CO₂ año y 1.014.325,9 t CO₂ en el ciclo de vida de la tecnología fotovoltaica.

La investigación realizada por [28], permitió conocer que la tecnología fotovoltaica conectada a red en Ecuador presenta un costo por kWp de 1.200,00 USD, un costo por instalación y montaje de 87,00 USD/kWp y un costo aproximado de 36,00 USD/kWp en otros materiales necesarios para la instalación. En total 1.323,00 USD/kWp instalado. Se estima que la introducción de la tecnología fotovoltaica para el sector del comercio y los servicios en la provincia de Manabí requiera un financiamiento aproximado de 134.455.167,00 USD. A partir de considerar el costo promedio de 0,13 USD/kWh suministrado por el sistema convencional y la energía que puede aportar la tecnología fotovoltaica conectada a la red, el sector del comercio y los servicios en la provincia puede evitar el gasto diario de 53.520,88 USD que equivale a 19.535.121,30 USD al año. Lo que permite calcular un periodo de recuperación del monto invertido de 6,8 años.

Existen otros ahorros económicos indirectos que están vinculados con el petróleo evitado, la reducción de las pérdidas de energía y las emisiones de CO₂ dejadas de emitir a la atmósfera, en concordancia con lo expuesto por [15]. Desde el punto de vista social el impacto radica en la transformación del sector comercial y de servicios de un simple consumidor pasivo de electricidad, para convertirse en un actor directo de la gestión energética del territorio, para contribuir con la generación de una parte de la energía que consume, lo que proporciona un clima de mayor conciencia social y la adopción de una postura responsable para el ahorro de energía y su contribución a la protección ambiental, en correspondencia con lo señalado por [15].

La revisión de las teorías vinculadas con la energía fotovoltaica conectada a la red y los datos primarios consultados permitió conocer las repercusiones asociadas con la introducción de la tecnología fotovoltaica, para suministrar una parte de la energía eléctrica que consume el sector del comercio y los servicios en la provincia de Manabí, en el modo de autoconsumo. En su etapa inicial del proyecto permitió conocer que el potencial solar global promedio anual tiene una equivalencia a 4,601 kWh/m² día, con una productividad normalizada de 4,501 kWh/kWp día y una productividad específica de 1.478,6 kWh/kWp año, que resulta pertinente para su aprovechamiento mediante la tecnología fotovoltaica conectada a la red eléctrica.

CONCLUSIONES

El resultado de la investigación permitió conocer, que la aplicación de la tecnología fotovoltaica conectada a la red de baja tensión, en las entidades del sector de comercio y los servicios de la provincia de Manabí, resulta una opción viable de eficiencia energética, ahorro de recursos naturales y la protección ambiental, que favorece el desarrollo sostenible del territorio, que puede garantizar el ahorro de recursos naturales, la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera y la disminución de la factura eléctrica a los usuarios finales.

REFERENCIAS

- [1] Espinosa-Martínez, J. U., *et al.* “Contribución del mantenimiento centrado en la confiabilidad para el estudio de fallos a equipos consumidores de energía eléctrica”. Centro Azúcar, vol. 47, n. 1, 2020, p. 22-32. ISSN 2223-4861. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612020000100022&script=sci_arttext
- [2] Clementi, L. V., y Carrizo, S. C. “Diversificar la generación en la emergencia eléctrica Argentina del siglo XXI: viejos protagonistas, nuevas metas y dinámicas territoriales”. *Energética*. Junio 2016, vol. 47, p. 31-43. ISSN 2357 - 612X. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/58793/CONICET_Digital_Nro.ac77379d-5554-44f6-9606-19c265b56b25_A.pdf?sequence=2
- [3] Pacce, Isabel, *et al.* “El papel del coste de los derechos de emisión de CO₂ y del encarecimiento del gas en la evolución reciente de los precios minoristas de la electricidad en España”. Documentos Ocasionales/Banco de España. 2021, n. 2120. ISSN 1696-2230. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.bde.es/handle/123456789/17351>

- [4] Artamonov, J. D. M., *et al.* “Análisis de emisiones de CO₂ para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas”. *Scientia et Technica*, vol. 2, 2010, n. 45, p. 141-146. ISSN 0122-1701. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4546958.pdf>
- [5] Somoza Cabrera, J., y Betancourt Alayón, Y. “Marcos regulatorios, políticas y estrategias de promoción de las fuentes renovables de energía. Experiencia internacional acumulada”. *Economía y Desarrollo*. 2017, vol. 158, n. 2, p. 151-168. ISSN 0252-8584. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0252-85842017000200011&script=sci_arttext&tlng=pt
- [6] Betanco, J. A. “Energía: Desde un modelo de derroche, hacia un modelo sostenible mediante energía renovable”. *Revista Científica de FAREM-Esteli*, 2017, n. 24, p. 40-59. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://rcientificaesteli.unan.edu.ni/index.php/RCientifica/article/download/1381/1460>
- [7] Intriago-Cedeño, M. G., *et al.* “Dimensionamiento de un Sistema de Autoconsumo Conectado a Red en la Universidad Técnica de Manabí-Ecuador”. *Décima Octava Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática*. 2022. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Nunez-Alvarez/publication/334523507_Dimensionamiento_de_un_Sistema_de_Autoconsumo_Conectado_a_Red_en_la_Universidad_Tecnica_de_Manabi-Ecuador/links/5d3774eb299bf1995b452b85/Dimensionamiento-de-un-Sistema-de-Autoconsumo-Conectado-a-Red-en-la-Universidad-Tecnica-de-Manabi-Ecuador.pdf
- [8] Arellano-Escudero, Nelson. “La energía solar industrial en el desierto de Atacama entre 1933 y 1952: investigación, desarrollo y sustentabilidad”. *Estudios atacameños*, n. 57, 2018, p. 119-140. ISSN 0718-1043. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-10432018005000704&script=sci_abstract&tlng=en
- [9] Abella, O., y Escribano, J. "Cooperación territorial y desarrollo: una mirada desde la escala transregional y de los espacios metropolitanos, rurales y turísticos." *Redes: Revista do Desenvolvimento Regional*, vol. 23, n. 3, 2018, p. 35-65. ISSN1982-6745. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6548003>
- [10] Sánchez Loor, Iván, *et al.* “Panorama eléctrico 2023”. *Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables*. Abril 2023, ed. 17. ISBN 978-1279234440. [Consultado el 3 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/PanoramaElectricoXVII-Mayo-Baja.pdf>
- [11] Quispe, W. “Planta fotovoltaica conectada a una micro red de baja tensión”. *Revista de Investigaciones*, 2022, vol. 9, n. 3, p. 148 - 158. ISSN 2077-8686. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.26788/riepg.v9i3.2134>
- [12] Alexis, B. L. R., y Cedenó, E. A. L. “La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el Ecuador a partir del uso de las energías renovables”. *Universidad Ciencia y Tecnología*. 2020, vol. 24, n. 104, p. 36-46. ISSN 2542-3401. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/364>
- [13] Korkeakoski, M., y Filgueiras Sainz de Rozas, M. L. “Una mirada a la transición de la matriz energética cubana”. *Ingeniería Energética*. 2022, vol. 43, n. 3, p. 40-47. ISSN 1815-5901. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012022000300040&script=sci_arttext
- [14] Vázquez, A. “El manejo de fuentes renovables de energía para el desarrollo local endógeno y sostenible en la provincia de Manabí”. *Tesis doctoral, Universidad de Alicante España*. 2022. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/129052>
- [15] Rodríguez, M., y Vázquez, A. “La Energía Solar en la provincia de Manabí”. *Portoviejo, Manabí, Ecuador*: 2018. ISBN 978-9942-948-20-5. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/index.php/component/content/article?id=713:la-energia-fotovoltaica-en-la-provincia-de-manabi
- [16] Moreno-Casbas, T., *et al.* “Barreras para la utilización de la investigación. Estudio descriptivo en profesionales de enfermería de la práctica clínica y en investigadores activos”. *Enfermería clínica*. 2010, vol. 20, n. 3, p. 153-164. ISSN 1130-8621. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S113086211000015X>
- [17] Quispe, L., y Sotomayor, G. “Determinación y análisis temporal de la radiación solar global en el Altiplano de Puno”. *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.* 2022, vol. 30, n. 1. ISSN 0718-3305. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052022000100069>

- [18] Moya, D., *et al.* "Caracterización de agentes de consumo energético en el sector residencial del Ecuador basada en una encuesta nacional y en los sistemas de información geográfica para modelamiento de sistemas energéticos". *Enfoque UTE*. 2022, vol. 13, n. 2, p. 68-97. ISSN 1390-9363. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422022000200068&script=sci_arttext
- [19] Ramanan, P., *et al.* "Performance analysis and energy metrics of grid-connected photovoltaic systems". *Energy for Sustainable Development*. 2019, vol. 52, p. 104-115. ISSN 0973-0826. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.08.001>
- [20] Gómez, V. A. Hernández, C., y Rivas, E. "La influencia de los niveles de penetración de la generación distribuida en los mercados energéticos." *Información tecnológica*. 2018, vol. 29, n. 1, p. 117-128. ISSN 0718-0764. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642018000100117&script=sci_arttext&tlng=pt
- [21] Santos-Fuentefría, A. Castro, M., y Martínez, A. "Penetración eólica con diferentes tecnologías de aerogeneradores en presencia de una red débil." *Ingeniería Energética*. 2012, vol. 33, n. 2, p. 143-155. ISSN 1815-5901. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=s1815-59012012000200007&script=sci_arttext
- [22] Recalde, M., *et al.* "Limitaciones para el desarrollo de energías renovables en Argentina". *Problemas del desarrollo*. 2015, vol. 46, n. 183, p. 89-115. ISSN 2007-8951. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2015.10.005>
- [23] DiMauro, G., *et al.* "Pérdidas Joule en alimentadores que transportan corrientes armónicas en baja tensión". *Ingeniare. Rev. chil. ing. Arica* dic. 2013, vol. 21, n. 3. ISSN 0718-3305. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052013000300007
- [24] Orjuela, H. "Las pérdidas de energía, enfoque operativo". *Literatura Especializada*. 2008. ISBN 978-9584437013. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://hernandoorjuela.com/libros-2/>
- [25] Noa-Ramírez, A. *et al.* "Comportamiento operacional de grupos electrógenos: particularidades del índice de consumo específico de combustible". *Ingeniería Mecánica*. 2018, v. 21, n. 1, p. 19-27. ISSN 1815-5944. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442018000100003
- [26] Tipán, L. Rumipamba, J. "Determinación del factor de potencia mediante el uso de SBC en clientes". *Revista Técnica "Energía"*, vol. 15, 2019, n. 2, p. 66-75. ISSN 2602-5074. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/379>
- [27] Vera, G. R. "Compensación de energía reactiva y mejoramiento del factor de potencia". Tesis doctoral. Universidad Mayor de Los Andes. La Paz Bolivia. 2019. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/22412/EG-2267.pdf?sequence=1&isAllowed=y2019>
- [28] Pesantez, J. P., *et al.* "Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro". *Revista Politécnica*. 2021, vol. 47, n. 2, p. 7-16. ISSN 2477-8990. [Consultado el 3 de enero de 2023]. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-01292021000200007&script=sci_arttext

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Roberth Patricio Lara Mendoza: <https://orcid.org/0000-0003-4980-9700>

Diseño de la investigación; software; validación; investigación; curación de datos; escritura; redacción, visualización; gestión de proyectos, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.

María Rodríguez Gámez: <https://orcid.org/0000-0003-3178-0946>

Diseño de la investigación. Edición, el análisis de los resultados, la redacción del borrador del artículo, la revisión crítica de su contenido y en la aprobación final.