

# Estudio de prefactibilidad en la aplicación de la autogeneración eléctrica (AE) en proyectos de VIS en el área metropolitana de la sabana de Bogotá

*Jesús David Fuentes Samacá*

Maestría en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
jesus.fuentes-s@mail.escuelaing.edu.co

*Liseth Morales Rosas*

Maestría en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
liseth.morales@mail.escuelaing.edu.co

*Sebastián Muñoz Fuentes*

Maestría en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
sebastian.munoz-f@mail.escuelaing.edu.co

Revista **IDGIP**  
ISSN 2619-1830 (en línea)  
Volumen 6, N.º 1  
Enero-diciembre de 2023,  
pp. 42-64  
  
Recibido: 30/11/2022  
Aceptado: 25/04/2023  
Disponible en <http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/idgip>

**Resumen:** A través de esta investigación se busca incrementar el nivel de aprovechamiento de las oportunidades ofrecidas por el uso de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) por parte de las empresas constructoras de viviendas de interés social (VIS), mediante la formulación de estudios de prefactibilidad, buscando esclarecer las consecuencias y los beneficios de incorporar el concepto de autogeneración eléctrica (AE) en futuras urbanizaciones de VIS, con el fin de disminuir el riesgo de inversión, de modo que surjan iniciativas reales en el área metropolitana de la sabana de Bogotá (AMSB) y sean repetidas en el territorio nacional por los constructores.

**Palabras claves:** vivienda VIS, autogeneración eléctrica (AE), prefactibilidad, TIR, VPN, fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), área metropolitana de la sabana de Bogotá (AMSB).

---

## Pre-feasibility Study on the Application of Electric Self-Generation (ESG) in Low-Income Housing Projects in the Metropolitan Area of Bogotá's Savannah

**Abstract:** Through this work, it is sought to increase the level of exploitation of the opportunities offered by the use of the FNCER by the VIS housing construction companies through the development of formulation studies at the pre-feasibility level, seeking to clarify the consequences and benefits of incorporating the concept of AE in future urbanizations of VIS housings, in order to reduce investment risk so that real initiatives arise in the Bogotá Savannah Metropolitan Area and are replicated throughout the national territory by builders.

**Keywords:** Low-Income Housing, Electric Self-Generation (ESG), Pre-feasibility, IRR, NPV, Unconventional Renewable Energy Sources, Metropolitan Area of the Bogotá Savannah.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Colombia cuenta con los recursos energéticos (sin depender de importaciones) y su sistema eléctrico es suficientemente eficiente para cubrir el suministro de energía que demanda el país, por lo que se cree que no existe la necesidad de impulsar el desarrollo de fuentes de energía alternativa. Sin embargo, las experiencias exitosas en su incorporación por parte de otros países, que muestran una reducción en los costos y riesgos, así como el surgimiento de proyectos novedosos para el contexto colombiano, han sentado las bases para adoptar estrategias que promuevan las fuentes no convencionales de energía en Colombia (López, 2019).

Además, los avances en tecnologías de energías renovables representan un beneficio para los proyectos de infraestructura en Colombia debido a los adelantos en materia de transición energética (Agenda 2030) y sostenibilidad. Por consiguiente, el Congreso de la República, a través de la Ley 1715 de 2014 y la Ley 2099 de 2021, regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, introduciendo el concepto de autogeneración eléctrica (AE), definido como “Aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica, principalmente, para atender sus propias necesidades. En el evento en que se generen excedentes de energía eléctrica a partir de tal actividad, estos podrán entregarse a la red, en los términos que establezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas”.

Esta producción de energía permitiría una serie de ventajas a las personas naturales o jurídicas que implementen la AE, beneficiándose de una reducción en los costos asociados a una disminución en el consumo de la energía proveniente de la red local y a un aumento en la eficiencia y confiabilidad del suministro del servicio; además, dicha implementación tendría impactos positivos sobre el medioambiente, relacionados con la reducción de la huella de carbono del sector eléctrico por emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), debido a la disminución en el uso de las redes convencionales de energía eléctrica, entre otros beneficios, lo cual convoca a empresarios, inversionistas y ciudadanos en general para que le apuesten a las energías limpias.

Por otro lado, pasando al sector de vivienda en Colombia, la vivienda de interés social (VIS) se encamina a garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos, amparado por el concepto de lo que representa una vivienda digna. Además, según la Ley 1955 de 2019, que expide el Plan Nacional de Desarrollo para el periodo 2018-2022, se estableció que el valor de la vivienda VIS no debe exceder el tope de 135 SMMLV. Por consiguiente, esta investigación buscó determinar la prefactibilidad en la aplicación de la autogeneración eléctrica en proyectos de construcción de urbanizaciones de VIS para el área metropolitana de la sabana de Bogotá, con el fin de aportar al conocimiento de las constructoras, de modo que encuentren una nueva alternativa dentro de su portafolio, incrementando así el nivel de aprovechamiento de las oportunidades ofrecidas por el uso de FNCER.

Para lograrlo, se realizó la evaluación financiera de la condición con proyecto y sin proyecto, analizando los diversos escenarios que permitieron establecer indicadores de rentabilidad y rendimiento para las urbanizaciones, considerando el precio máximo de venta (tope) de VIS del área de estudio.

Para el desarrollo del estudio de prefactibilidad, se tomó en cuenta el concepto de autogeneración eléctrica (AE) indicado en la Ley 1715 de 2014. Dado que este concepto abarca la utilización de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER) como posibles opciones para implementar, se contempló de la AE en términos generales, hasta que en el estudio técnico se eligió una (1) fuente de energía como la más apropiada en urbanizaciones de viviendas de interés social (VIS) en el área de estudio. A partir de este punto, la investigación se enfocó en la FNCER elegida.

## 2. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA / ESTADO DEL ARTE

En términos generales, la AE implica utilizar una o varias tecnologías de generación eléctrica, dependiendo de la fuente de energía escogida. Estas tecnologías captan la energía renovable del medioambiente (energía del sol, el viento, la tierra, etc.) y la transforman en energía eléctrica aprovechable para su consumo. Es necesario evaluar la fuente de energía, y su respectiva tecnología, que mejor se adapte al tipo de infraestructura que presentan los conjuntos residenciales y sus correspondientes necesidades energéticas. Entre las fuentes de energía más populares para la implementación de AE se encuentran la energía solar fotovoltaica (FV) y la energía eólica, utilizando tecnologías basadas en paneles solares y molinos eólicos, respectivamente.

La conciencia ambiental que se ha despertado en los últimos años permite que cada vez más agremiaciones, profesionales y la sociedad en general se interesen por abordar e implementar sistemas de aprovechamiento de recursos naturales. En el año 2015, la Organización de Naciones Unidas (ONU) aprobó la agenda 2030, en la que se encuentran los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), como el de garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (ODS-7). Para lograrlo, es necesario invertir en fuentes de energía limpia, tales como la energía solar, eólica y térmica, entre otras. En ese orden, la adopción de estándares eficaces en función del costo, aplicables a las FNCER, también podría reducir en un 14 % el consumo mundial de electricidad en los edificios; esto equivale a la energía generada por aproximadamente 1.300 centrales medianas de generación de energía eléctrica cuya construcción se podría evitar. Se concluye que expandir la infraestructura y mejorar la tecnología para contar con fuentes de energía limpia en todos los países en desarrollo es un objetivo crucial que puede estimular el crecimiento y a la vez ayudar al medioambiente (Sustainable Development Goals Fund, s.f.).

Con el fin de evaluar la prefactibilidad de la AE en vivienda VIS, se usó el *software* Ingemax para estructuración de proyectos en etapa de formulación y seguimiento, el cual fue empleado para el análisis (gracias al apoyo de la constructora Prodesa), considerando su gran trayectoria a escala nacional para la estructuración y modelación financiera de proyectos, debido a su versatilidad y las variables que se pueden involucrar, tales como: ritmos de ventas, parametrización del terreno, costos directos e indirectos, definición de apalancamiento de proyectos, entre otros, dando como resultado flujos de caja por medio de los cuales es posible calcular los indicadores financieros TIR y VPN.

En el ámbito internacional, se encuentran algunos ejemplos de edificaciones que han recibido certificaciones de sostenibilidad, tales como: la Academia de Ciencias Naturales de California, en San Francisco (Estados Unidos); la sede corporativa de Johnson Controls en Gledale, Wisconsin (Estados Unidos); el edificio Ecocomercial en Greater Noida (India), el edificio Taipei 101 (Taiwan) y el ecobarrio Eva Laxmeerse (Holanda), las cuales se certificaron en Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Platino, que se considera una alternativa con respecto a la eficiencia energética de la iniciativa de AE.

Así mismo, en el contexto nacional de edificaciones sostenibles, para el 2018 ya se encontraban 122 edificios que contaban con certificaciones de sostenibilidad en el país, tales como: el edificio Novartis Colombia, ubicado en Bogotá, que cuenta con certificación LEED Plata; el edificio Bancolombia de la ciudad de Medellín, acreditado con la categoría LEED Oro; el edificio Kubik Virrey I y II es un proyecto referente, al ser el primero LEED Oro en Bogotá y el segundo en Colombia con ahorros de agua del 60 % y de energía del 50 %. Adicionalmente, se han promovido diferentes tipos de certificaciones de sostenibilidad e incentivos para los constructores con el fin de alcanzar la reducción de consumos en los proyectos para su etapa de operación. Dentro de estas certificaciones se encuentran: Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE) y certificación CASA del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS).

A continuación, se destacan algunas iniciativas relacionadas con la AE a escala nacional:

Con base en el diseño de un sistema eléctrico residencial con energía solar, que suministra energía a la red eléctrica de una vivienda unifamiliar en Yopal (Casare), se realizó una investigación para implementar un sistema fotovoltaico que permitiera reducir los costos de consumo de energía eléctrica en un hogar común, de acuerdo con la Ley 96 de 2012, la cual pretende definir mecanismos y normalizar la venta de energía alternativa producida por un particular para ser inyectada a la red eléctrica nacional.

La implementación del Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, que inició en 2018 y, de acuerdo con la noticia emitida por la Escuela el 11 de febrero de 2022 en su sitio web, consistió en “dotar al Programa de Ingeniería Eléctrica y a la Maestría en Ingeniería Eléctrica de un laboratorio, de tal manera que la universidad se convirtiera en referente nacional en el estudio de este tipo de energías limpias”.

En la actualidad existe un proyecto de vivienda de interés prioritario (VIP) en Valledupar denominado Urbanización Lorenzo Morales, que logró el beneficio para 560 familias en la reducción de los costos correspondientes al consumo de energía eléctrica en las zonas comunes de la urbanización mediante el uso de paneles solares. Sin embargo, no se evidenció ningún caso de implementación de FNCER en viviendas VIS en el AMSB.

### 3. METODOLOGÍA

El proceso que se llevó a cabo obedece a una investigación aplicada, enfocada en la línea de investigación de estrategia, formulación y evaluación en la categoría de solución de un problema concreto. Se desarrollaron tres capítulos principales,

comenzando por la identificación y alineación estratégica del proyecto, pasando posteriormente por el desarrollo de la formulación (en el cual se abarcan los estudios: mercado, técnico, ambiental, administrativo, legal y presupuestos) y culminando con el capítulo de evaluación en el que se analizaron financieramente los resultados obtenidos. El desarrollo de esta investigación se realizó con el fin de que se pueda aplicar en cualquier constructora que opere en el área de estudio; sin embargo, se tomó como referencia información suministrada por la Constructora Prodesa, gracias a un acuerdo de confidencialidad celebrado entre los autores y dicha compañía el 6 de octubre de 2021, el cual permitió usar los índices de construcción y cuadros de áreas con fines académicos y, de esta forma, ejemplificar, ilustrar y evaluar la iniciativa propuesta en una constructora real con datos reales. Esto último no categoriza la investigación como caso de estudio, pues la información utilizada se trató de forma genérica y no específica.

#### 4. RESULTADOS

A continuación, se indican los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la prefactibilidad en las que fue analizada, como iniciativa, la implementación de la AE en proyectos de construcción de vivienda VIS dentro del área metropolitana de la sabana de Bogotá: alineación estratégica (IAEP), estudios de formulación y evaluación financiera.

##### 4.1 Alineación Estratégica (IAEP)

Mediante el uso de tecnologías de transición energética, Colombia, en línea con el Acuerdo de París de 2016, creó normativas con el fin de incentivar proyectos de índole sostenible. Esta investigación buscó involucrar el concepto de autogeneración eléctrica en vivienda de interés social, con el fin de masificar la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible, planteados en la agenda para el año 2030, que se encuentran en el marco de esta investigación, tales como: energía asequible y no contaminante, crecimiento económico, comunidades y ciudades sostenibles, acción por el clima e industria, innovación e infraestructura.

La oferta de vivienda en Colombia es insuficiente para cubrir la demanda o, como afirma el gerente de Camacol, Alejandro Callejas, “El POT decretado no proporciona los instrumentos suficientes para cumplir con la demanda, pues el documento proyecta la construcción de vivienda para solo 589.000 hogares, mientras que el DANE estima que la demanda será de más de un millón debido al crecimiento demográfico, la migración y la recomposición en el tamaño de las familias”. Esto ha servido como incentivo para que algunas constructoras que, según el informe del periódico *La República* de 2020, lideran el mercado de vivienda de interés social en Colombia: Marval, Amarillo y Bolívar, seguidas de otras como Prodesa, Capital e IC Constructora, hayan venido desarrollando iniciativas con un enfoque cada vez más sostenible dentro de sus objetivos estratégicos, los cuales se alinean tanto con los objetivos y tendencias del país y del mundo, como con los de esta investigación, mostrando un compromiso claro con el desarrollo de proyectos de vivienda sostenible para atender la demanda prevista.

En cuanto a la alineación con el Gobierno nacional y la normativa vigente al año 2022, se han generado diferentes planes e iniciativas basados en leyes y regulaciones que incentivan el uso de las FNCER en proyectos de infraestructura como la Ley 1715 de 2014, además de estrategias y programas que faciliten el acceso a la vivienda, como es el caso de los subsidios del programa Mi Casa Ya y los de las cajas de compensación.

Todo lo anterior es una evidencia de que la iniciativa de la implementación de la AE en futuras urbanizaciones de vivienda VIS presenta una clara alineación con el Gobierno nacional (y sus organismos administrativos) y las constructoras que operan en el área metropolitana la sabana de Bogotá, las cuales pueden incrementar sus esfuerzos hacia la sostenibilidad.

## 4.2 Estudios de formulación

En esta investigación se logró identificar y analizar las variables que interactúan en el desarrollo de proyectos de vivienda VIS que implementen la AE en el área metropolitana de la sabana de Bogotá, a través de los siguientes estudios de formulación: mercado, técnico, administrativo, legal, ambiental y presupuestos, que se realizaron usando tanto información pública de entidades como la UPME, la CREG y el Ideam, como aquella proporcionada por la constructora Prodesa (según autorización dada en los términos del acuerdo de confidencialidad) y otras fuentes bibliográficas. Además, se utilizaron diversas herramientas de computadora (*softwares* y hojas de cálculo) con las que se complementaron los análisis en cada uno de ellos.

### 4.2.1 Estudio de mercado

El estudio de mercado se realizó con el objetivo de encontrar los productos (conjuntos residenciales VIS del AMSB) que cumplieran con las características óptimas en cuanto a sus resultados en ventas y área de cubierta (como factor relevante para el posterior estudio técnico), los cuales fueron resultado del análisis de la base de datos obtenida de Siga, aplicando las siguientes exclusiones:

1. Los municipios del área metropolitana de la sabana de Bogotá debían tener por lo menos un producto de vivienda de interés social (VIS) desarrollado o iniciando ventas en el marco del alcance (posterior al año 2015).
2. Productos definidos como vivienda de interés social.
3. No se consideran lotes útiles, solo productos definidos como conjuntos residenciales de casas o apartamentos.
4. No se consideran productos con lanzamiento y posteriormente desistidos.
5. Se consideran productos exitosos aquellos que tengan un ritmo de ventas por encima de la media.

Analizando 305 datos de urbanizaciones ubicadas dentro del AMSB, obtenidas por medio de la herramienta Siga de Ingemax (que recopila la información histórica de las ventas de proyectos construidos), se evaluó la oferta de los tipos de

productos como casas o apartamentos. Adicionalmente, se tuvo en cuenta el precio máximo normativo de la vivienda VIS y el ritmo de ventas para definir el éxito en la comercialización de los productos, para finalmente elegir la mejor alternativa en lo que se refiere al área de cubierta y el ritmo de ventas por municipio para el AMSB.

Por otro lado, se estudiaron los productos sustitutos a la iniciativa de incorporación de la AE en viviendas VIS en el AMSB, teniendo en cuenta que, en el proceso de investigación, no se evidenció la existencia de una urbanización VIS que incorporara FNCER para el área de influencia. Así, el análisis se enfocó en la revisión de las características que cumplen las edificaciones que cuentan con certificaciones de sostenibilidad de acuerdo con el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) como: Leadership in Energy & Environmental Design (LEED); Haute Qualité Environnementale (HQE); Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM); Excellence in Design for Great Efficiencies (EDGE), y el referencial CASA Colombia “para el diseño y construcción de soluciones habitacionales sostenibles”). Se concluyó que la AE les permite a los proyectos de vivienda cumplir con varias características para que puedan adquirir una certificación de sostenibilidad y proporcionar a su vez características de mejora con respecto a las otras alternativas.

Como resultado, se obtuvo que la mejor tipología para implementar la AE, según el mercado, es el tipo apartamento. De acuerdo con el tope VIS establecido en el Decreto 046 de 2020 de la Presidencia de la República de Colombia, los municipios que cumplen este requisito son: Bogotá D.C., Facatativá, Funza, Gachancipá, Madrid, Soacha, Tocancipá y Zipaquirá.

De esta manera, se concluye del ritmo de ventas real de los productos analizados, aquellos que se encuentran sobre el promedio (superior a 24,35 un/mes), son considerados como exitosos y al ejecutar este análisis se determina que los productos se encuentran ubicados en Bogotá D.C., Madrid, Soacha y Tocancipá.

Analizando, en primer lugar, el producto con el mejor resultado en cuanto a ritmo de ventas entre Bogotá D.C., Madrid, Soacha y Tocancipá, el resultado óptimo corresponde a este último municipio con el producto Milano. En segundo lugar, y como requerimiento del estudio técnico, se analizó en las mismas localizaciones el área de cubierta, dentro de las cuales se determinó que el municipio óptimo en este aspecto se ubica en Soacha con el producto Naranja.

De igual forma, se consideran los gustos y tendencias del consumidor, tomando como referencia el artículo de la revista *Semana* (Mutis, 2021), en el cual se lee que los compradores de vivienda usualmente buscan lugares que, de acuerdo con su ubicación, le puedan brindar acceso al transporte público, centros de salud, comercio, centros educativos y parques. Se menciona que existe un interés de los compradores por adquirir hogares en edificaciones sostenibles, que cuenten con balcones y, debido a la pandemia de Covid-19, se ha generado la necesidad de incluir áreas para trabajar o estudiar en el hogar. Analizando los productos obtenidos se identifica que cuentan con: dos baños, tres habitaciones (una de estas se puede adaptar), cocina, zona de ropas, sala, comedor, y no tienen balcón.

En la tabla 1 se presentan los productos seleccionados teniendo en cuenta los requerimientos del estudio técnico en cuanto al área de cubierta y ritmo de ventas.

**Tabla 1**

Resultados de áreas construidas y de cubierta

PRODUCTO	CONSTRUCTORA	CIUDAD	RITMO DE VENTAS MENSUAL (UN)	VENTAS TOTAL (MM)	ÁREA DE CUBIERTA (m2)	AREA CONSTRUIDA (m2)	VALOR M2 (COP)
Naranjo	Mendebal	Soacha	34	72.024	2.483	41.460	\$ 1.737.163,67
Ciudadela Foresta - Milano	Prodesa	Tocancipá	104	35.501	1.394	24.103	\$ 1.472.904,80

#### 4.2.2 Estudios técnicos

El estudio técnico se enfocó en la autogeneración eléctrica (AE) con el fin de destacar este aspecto, por lo cual no se estudió la componente técnica que conlleva la actividad de construir VIS, centrándose únicamente en el potencial aprovechable de energía para implementar la AE en VIS del área de estudio y en el modo ideal de realizar dicha implementación, brindando un factor diferenciador a las urbanizaciones. De esta manera, se resolvieron las siguientes incógnitas:

#### ¿Qué tecnologías serían más convenientes para el tipo de infraestructura analizada y su ubicación?

Como base para la investigación se tuvieron en cuenta las FNCER indicadas en la Ley 1715 de 2014, para las cuales el Gobierno nacional busca promover su desarrollo y utilización en el sistema energético nacional. Cada una de estas fuentes de energía tiene asociada la utilización de una tecnología determinada, como se indica en la tabla 2.

**Tabla 2**

Tecnologías a utilizar en actividades de Autogeneración Eléctrica (AE)

TECNOLOGÍAS DE AUTOGENERACIÓN ELÉCTRICA	
FUENTE DE ENERGÍA	TECNOLOGÍA IMPLEMENTADA
Solar	Sistemas solares fotovoltaicos (FV) - Paneles solares
Eólica	Sistemas mini eólicos - Aerogeneradores de pequeña potencia
Biomasa	Sistemas de combustión de biomasa - Plantas de biomasa (Turbina/Generador)
Pequeña hidroeléctrica	Microcentrales hidroeléctricas - Turbinas hidráulicas y alternador
Geotérmica	Turbinas de vapor y alternador
Mares	Turbinas hidráulicas y alternador

Al investigar la viabilidad de utilizar estas fuentes de energía como opciones adecuadas para lograr la aplicación de la AE a pequeña escala en urbanizaciones VIS, se determinó –por medio de un análisis del potencial energético de cada fuente– que el tipo de energía que mejor se ajusta a la iniciativa es la solar fotovoltaica captada a través del uso de sistemas fotovoltaicos con paneles solares.

#### ¿Dónde se podría localizar más convenientemente una urbanización de vivienda VIS con AE?

Partiendo del desarrollo de la incógnita anterior, se estudió el potencial solar FV en toda el área de Cundinamarca, con el fin de identificar el comportamiento de la radiación solar (parámetro de referencia), específicamente en el AMSB, y se



verificó que dicho potencial en el área de estudio es aprovechable como fuente de AE en urbanizaciones.

El análisis del potencial solar FV se realizó con el apoyo de los mapas de radiación solar, emitidos por el Ideam y la UPME en su atlas interactivo (2014), y las bases de datos meteorológicos de la herramienta de computadora RETScreen Expert, los cuales son tomados de estaciones meteorológicas de la NASA. Este análisis permitió identificar que los mayores valores de radiación solar durante el año, en el AMSB y en general en Cundinamarca, donde se ubican predominantemente en municipios al noreste y suroeste del departamento. Por consiguiente, y alineando los resultados obtenidos en el estudio de mercado (municipios de Tocancipá y Soacha como localizaciones más atractivas), para el estudio de la implementación de AE con energía solar fotovoltaica, se consideraron distintos escenarios de mayor y menor recurso solar disponible en el área de estudio, conforme a su ubicación.

### **¿Cuáles son los factores más influyentes en el dimensionamiento de una urbanización VIS que implemente la AE, desde el punto de vista de ingeniería conceptual?**

Se investigaron los elementos más relevantes que conformarían la ingeniería conceptual de una urbanización VIS que implemente la AE, ubicada en el área de estudio, identificando las características necesarias para realizar el predimensionamiento de un sistema fotovoltaico (FV) para dicha urbanización.

Se definieron como factores más importantes: las cargas eléctricas que serían alimentadas por los sistemas FV que, como resultado de la investigación, se aplicaron únicamente sobre el abastecimiento de las cargas de servicios comunes; y las áreas disponibles de cubierta con las cuales cuentan las urbanizaciones VIS, pues las cubiertas resultan ser el sitio idóneo para la instalación de paneles solares debido a que son difíciles de obstruir.

### **¿Cuál es el beneficio inherente, desde el punto de vista técnico, de la implementación de AE en urbanizaciones de vivienda VIS?**

La AE con energía solar FV presenta una serie de beneficios de diferente naturaleza, entre los cuales se encuentra una reducción en los costos de energía eléctrica asociados a una demanda energética específica, la cual sería abastecida por los sistemas solares FV de manera parcial o total. En este sentido, se ejemplificó con valores numéricos el potencial aprovechable para implementar sistemas solares FV que puedan abastecer la demanda energética de las zonas comunes en urbanizaciones VIS del área de estudio; y, así mismo, se realizó un pre dimensionamiento básico. Para ello, se tomó como referencia a las urbanizaciones Milano y Naranjo (tabla 1), las cuales se analizaron a través de dos herramientas de computadora: RETScreen Expert y PV\*SOL Premium. Esto último, mediante análisis y evaluación técnica, partiendo de la información suministrada por la constructora Prodesa, con el fin de ilustrar el beneficio inherente que conlleva la implementación de AE en urbanizaciones VIS en términos de ahorros energéticos.

El análisis técnico, realizado por medio de RETScreen Expert, permitió identificar que el potencial de ambas urbanizaciones para implementar la AE con sistemas FV (en términos de área de cubierta disponible y radiación solar diaria) podría permitir el abastecimiento del cien por ciento de la demanda de energía de

las zonas/servicios comunes (durante las horas de sol o todo el día usando sistemas de baterías) e incluso podría llegar a presentar excedentes de energía para inyectarlos en la red de distribución local. Por otro lado, la evaluación técnica, realizada a través de un predimensionamiento en PV\*SOL Premium, permitió identificar los impactos (ventajas) posibles para las urbanizaciones VIS al implementar un sistema FV en términos de ahorros en el consumo de energía eléctrica, tomando como referencia las urbanizaciones Milano y Naranjo. Como resultado del análisis de estos dos ejemplos, de manera indicativa se denotó que, en el caso de Milano, se podría llegar a abastecer el 52 % de esta energía demandada por los servicios comunes de la urbanización y, al tiempo, presentar excedentes de energía anual por aproximadamente 23.585 kWh, lo que representaría un beneficio económico para la urbanización; mientras que en Naranjo, se podría llegar a abastecer aproximadamente el 31 % de la energía demandada y, simultáneamente, obtener excedentes de energía anual por aproximadamente 1.181 kWh (ambos casos sin el uso de sistemas de baterías). Estos datos son estrictamente indicativos y de referencia.

### **¿Qué aspectos técnicos y recomendaciones deberían tenerse en cuenta al identificar alternativas de fabricación del “producto”, materia prima y mano de obra necesarios para llevar a cabo esa construcción?**

Luego de investigar diversas fuentes de información de expertos y compañías especializadas en el área de la energía solar fotovoltaica (FV), se identificó que existen ciertas recomendaciones y consideraciones básicas que se deben tener en cuenta al implementar estos sistemas en urbanizaciones residenciales de cualquier tipo, tales como:

- Identificar el consumo de energía de la instalación a la que se conectará el sistema fotovoltaico. En el caso planteado por esta investigación, la instalación corresponde a las cargas de servicios comunes de las urbanizaciones.
- Validar la ubicación de la instalación. Esto permitirá identificar el recurso solar disponible como en el caso de Milano (Tocancipá – 4,95 kWh/m<sup>2</sup> aprox.) y Naranjo (Soacha – 4,85 kWh/m<sup>2</sup> aprox.)
- Los paneles solares requieren una buena exposición al sol, sin árboles u objetos que bloqueen y produzcan sombras. Por esta razón se eligieron las cubiertas de los edificios como lugar idóneo para la instalación de paneles.
- Proporcionar techos adecuados (área de cubiertas), con las especificaciones y normas requeridas para este tipo de instalaciones. Esto se debe a que las cubiertas normalmente cuentan con una infraestructura particular que debe obedecer normas de construcción.
- Seleccionar el tipo de instalación (On-Grid / Off-Grid / Híbrido). Para el caso planteado, resulta conveniente la instalación On-Grid, pues la instalación Off-Grid e híbrida son más efectivas para funcionar en zonas no interconectadas, es decir, ubicaciones en donde no haya acceso a una red de distribución de energía. Además, el costo por la adquisición de sistemas de baterías puede duplicar o triplicar la inversión.
- Realizar el mantenimiento regular del sistema fotovoltaico, con el fin de garantizar una mayor durabilidad y eficiencia del sistema implementado en las urbanizaciones.

Finalmente, se dieron a conocer los elementos de costos que formarían parte de la inversión financiera que se realizaría a la hora de implementar los sistemas FV en una urbanización VIS. Estos elementos se resumen en materia prima (insumos), servicios de instalación, traslados, diseños, mano de obra y trámites. Sus valores de costo se muestran en el estudio de presupuestos.

#### 4.2.3 Estudio administrativo

El estudio administrativo consistió en un proceso de análisis de capacidades en el que se mostraron los elementos administrativos, tales como la planeación estratégica, que define el rumbo y las acciones por considerar para alcanzar los objetivos del proyecto, con la finalidad de proponer un perfil adecuado y dar soporte a la alineación, tal como se muestra en la figura 1.

Adicionalmente, se realizó el análisis Pestal, cinco fuerzas de Porter y Canvas por medio de los cuales se logró concluir que existe un ambiente propicio para el desarrollo de la iniciativa de la AE en urbanizaciones VIS. También se identificó que en el sector constructor existe economía de escala, pero se requieren altos niveles de inversión y tecnología y, por último, se crearía valor sobre el usuario final de las viviendas en cuanto a reducción de costos de administración de las urbanizaciones.

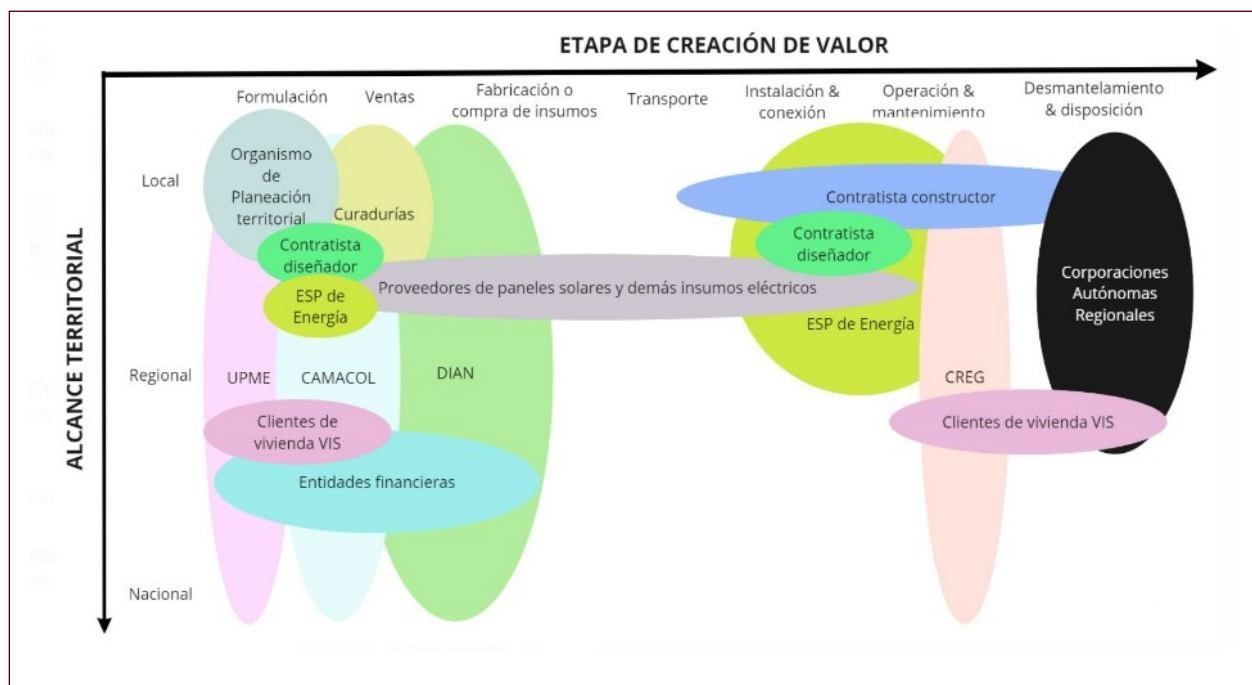


Figura 1. Grupo de interesados del proyecto según la etapa de creación de valor y alcance territorial.

#### 4.2.4 Estudios legales

A través de este estudio se investigaron los antecedentes normativos que aplican al sector de vivienda y de generación de energía, listando los beneficios tributarios a los que es posible acceder mediante la Ley 1715 de 2014, los cuales se supusieron como aprobados por parte de la UPME y se consideraron dentro del estudio financiero, con el fin de determinar la viabilidad de la iniciativa en el nivel de prefactibilidad. Fue posible concluir que las empresas constructoras podrían tener los siguientes beneficios: depreciación acelerada, deducción especial en la determinación del impuesto de renta, exclusión de bienes y servicios de IVA y exención de gravámenes arancelarios.

Por último, se aclara que en caso de variar alguna normativa que influya en cualquiera de los factores de éste o de los otros estudios, se deberá realizar el ajuste pertinente.

#### 4.2.5 Estudios ambientales

Para efectos del estudio de prefactibilidad, se realizó un diagnóstico ambiental de alternativas (DAA) considerando dos identificadas dentro de la aplicación de la AE en proyectos VIS en el AMSB: condición con proyecto y condición sin proyecto. El análisis abordó únicamente el aspecto de la implementación de la energía solar FV en urbanizaciones VIS y no se incluyeron los aspectos ambientales que resultan de la construcción de viviendas VIS, debido a que el estudio de prefactibilidad se enfocó en analizar únicamente el aspecto de AE.

En este sentido, en el DAA se realizó la caracterización ambiental en la que se analizaron los siguientes componentes:

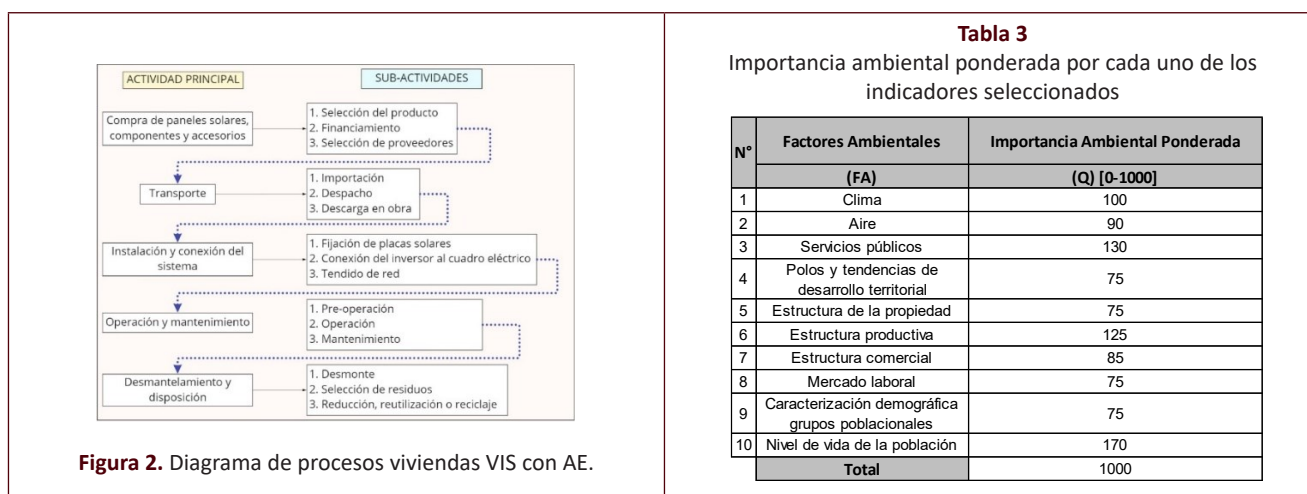
- Componente atmosférico: fue posible identificar que la implementación de la AE con energía solar FV en viviendas VIS en el área de estudio no tiene implicaciones negativas sobre la atmósfera, pues la energía solar no produce emisiones de sustancias tóxicas en el ambiente ni ruido.
- Componente de ecosistemas terrestres: se evidenció que la instalación de paneles solares en las cubiertas de los edificios no presenta implicaciones sobre la fauna ni la flora del área en la que se instalan.
- Componente público institucional: se consideró la relevancia de las intenciones del gobierno para lograr el desarrollo sostenible de las ciudades, tales como las disposiciones de la Ley orgánica 2199.
- Componente público espacial: se pudo identificar que una de las mejores opciones para reducir el impacto ambiental en el casco urbano del AMSB es la implementación de la energía solar FV en los entornos urbano y suburbano.
- Componente económico: se pudo destacar que la implementación de la energía solar FV en proyectos de infraestructura implica la fabricación de componentes de los sistemas FV como los paneles solares, estimulando –de forma indirecta– la estructura productiva asociada a esa fabricación, que actualmente se realiza en países como China y Japón, además de la creciente tendencia en la implementación de sistemas solares en Colombia, los cuales incrementan el consumo de paneles, y por ende, la aparición de mercado laboral en la oferta de productos y servicios relacionados con la energía solar FV.

Por otro lado, se identificó el proceso básico, como se indica en la figura 2, en el cual se basa la AE en urbanizaciones de vivienda, y se determinaron diez factores ambientales que más se ven impactados con la implementación de esta iniciativa; luego se les asignó un factor de importancia cualitativo basado en el juicio de expertos, como se muestra en la tabla 3.

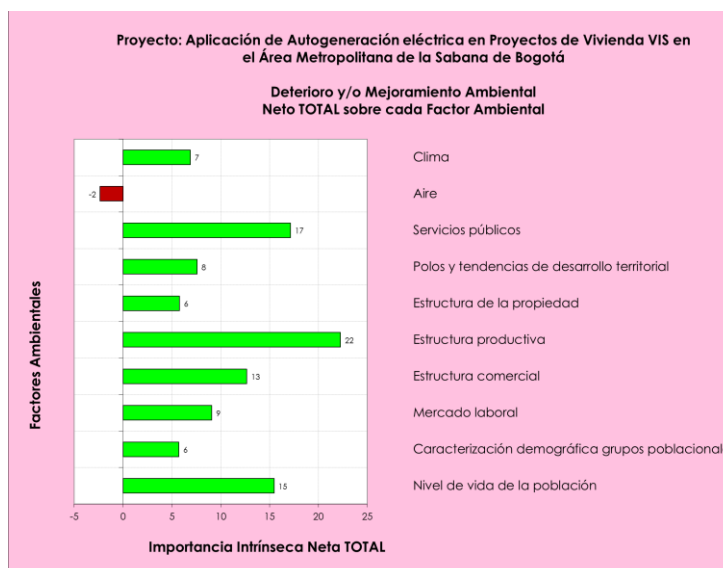
Se evaluaron las características de incidencia de estos factores en once componentes, mediante una fórmula matemática perteneciente a un aplicativo denominado ESIA, con el que se desarrolló el DAA. Se graficaron entonces los factores incidentes por cada uno de los procesos y se establecieron estrategias de manejo o mitigación de impactos. ESIA es un aplicativo de Microsoft Excel de la asignatura de Ingeniería Civil Sostenible de la Universidad Nacional de Colombia, del ingeniero Leonel Vega, de junio de 2019.

Entre tanto, se identificó que la implementación de la AE en urbanizaciones de vivienda VIS con sistemas FV no presenta demanda de recursos naturales en ninguna de las etapas mostradas en el diagrama de procesos de la figura 2.

Adicionalmente, se realizó la identificación de impactos y evaluación ambiental, y se mostró el deterioro o mejoramiento ambiental asociado a cada uno de los pasos del diagrama de proceso, obteniéndose como resultado todos los impactos en su conjunto y el deterioro neto. Esta evaluación de impactos presentó un comportamiento de balance positivo sobre la AE en urbanizaciones VIS, el cual se muestra en la figura 3.



Dentro de esta identificación y evaluación de impactos, cabe adicionar el impacto positivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); sin embargo, el aplicativo ESIA no presenta alcance para su evaluación. Para determinar e ilustrar este impacto, el cual depende del proyecto específico o caso de estudio, se retomaron los casos de Milano y Naranjo usando PV\*SOL Premium. En el caso de Milano, el sistema FV predimensionado permitió una reducción de emisiones de 7.247 kgCO<sub>2</sub>/año, el cual equivale a la plantación de 288 árboles al año, mientras que el sistema FV predimensionado para Naranjo aportó una reducción de emisiones de 7.255 kgCO<sub>2</sub>/año, equivalente a la plantación de 289 árboles al año. Estos datos son meramente indicativos y de referencia.



**Figura 3.** Deterioro o mejoramiento ambiental neto sobre cada uno de los factores ambientales en todo el proceso en su conjunto.

Fuente: Modificado desde Aplicativo ESIA.

Por último, se desarrollaron las estrategias de manejo ambiental relacionadas con los procesos de manufactura, transporte y disposición final de los sistemas solares fotovoltaicos, y las estrategias de oportunidades ambientales para los factores correspondientes. Entre estas oportunidades se encuentran: beneficios económicos y mejoramiento del protocolo de las empresas de servicios públicos (ESP) hacia las solicitudes y entregas tempranas de viabilidades a proyectos enfocados en FNCER; unificación y establecimiento de políticas de generación de energía renovable de interés regional dentro de los planes de desarrollo municipales y regionales; incremento de los canales de acceso a los beneficios tributarios y hacia las fuentes renovables no convencionales de energía; y, finalmente, mayores capacitaciones técnicas a la población de modo que pueda acceder a este mercado aún por desarrollar en el país. No obstante, dentro de las estrategias de manejo se encuentran: establecer canales e infraestructuras más eficientes que favorezcan la compra, importación o fabricación nacional de los componentes de los sistemas solares FV, con el fin de disminuir el carbono embebido en el proceso de transporte de dichos materiales y, además, promover el reciclaje de los paneles solares (y demás componentes) al final de su vida útil (25-30 años), con el fin de disminuir la masa total de desechos. Esto último, incentivando la cultura del reciclaje mediante mecanismos legales y económicos, incluso desde las etapas de desarrollo de ingeniería.

#### 4.2.6 Estudios de presupuestos

Para el desarrollo del estudio de presupuestos, la constructora Prodesa permitió el uso de los índices de construcción con cierre a junio de 2022 de los productos Milano y Palmeto, este último debido a que posee características similares a las del producto Naranja de la constructora Mendebal, del cual no se cuenta con información técnica para el cálculo de los costos.

Considerando que Milano fue ejecutado en el año 2020 y con el fin de actualizar los costos al año 2023, con la hipótesis del inicio de construcción de cada iniciativa en dicho año, se incrementaron en un total del 21,48 %, de acuerdo con el índice de costos de construcción de vivienda (ICCV) y el informe de índice de costos de la construcción de edificaciones (Icoced) que se observa en las tablas 4, 5 y 6. De igual forma, Palmeto fue ejecutado en el año 2015, por lo que los costos tuvieron un incremento total de un 37,08 % para que sean igualmente comparables.

La tabla 4 muestra la variación mensual por costos asociados a la construcción de edificaciones; para el interés de este estudio se toma el valor de 0,56 % que corresponde a los proyectos VIS.

**Tabla 4**

Variación y contribución mensual del Icoced de la vivienda VIS y no VIS según grupo de costo a junio de 2022

Grupo de costo	Peso %	VIS		NO VIS		
		Variación	Contribución	Peso %	Variación	Contribución
Materiales	54,01	0,38	0,21	50,95	0,32	0,17
Equipo especial para obra	0,96	0,51	0,01	0,73	0,22	0,00
Mano de obra	21,87	0,63	0,14	20,16	0,72	0,14
Equipo	3,17	0,18	0,01	3,73	0,18	0,01
Maquinaria	0,82	0,21	0,00	0,81	0,11	0,00
Transporte	1,37	0,22	0,00	0,94	0,17	0,00
Herramienta menor	0,04	0,62	0,00	0,06	0,69	0,00
Servicios especializados de la construcción	17,76	1,14	0,21	22,62	1,22	0,28
<b>Total ICOCED</b>	<b>100,00</b>	<b>0,56</b>	<b>0,56</b>	<b>100,00</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>

Fuente: DANE-Icoced. Boletín Técnico (2022, junio, p. 6).

Teniendo en cuenta la variación de los costos de edificaciones tipo apartamento, a junio de 2022, según lo indica la tabla 5, se procede a calcular la indexación de precios considerando el año de ejecución de cada producto. Para obtener los porcentajes totales de indexación, se usó la tabla 6 del ICCV.

**Tabla 5**

Variación y contribución año corrido por clase CPC V.2 A.C y destino a junio de 2022

CLASE CPC	CPC	Tipo de Edificación	Peso %	Variación año corrido	Contribución
				(%)	(puntos porcentuales)
Edificios residenciales		Apartamentos	56,59	8,20	4,64
		Casas	9,03	7,56	0,68
<b>Total edificios residenciales</b>				<b>8,11</b>	<b>5,32</b>
Edificios industriales, comerciales, otros edificios no residenciales	Edificios industriales	Bodegas	3,61	9,11	0,33
	Edificios comerciales	Comercio	9,27	8,99	0,83
		Oficinas	5,38	9,58	0,52
	Otros edificios no residenciales	Administración pública	1,05	7,69	0,08
		Educación	6,47	8,10	0,52
		Hospitales y centros asistenciales	2,16	9,28	0,20
		Hoteles	1,74	8,77	0,15
		Otros destinos	4,70	9,56	0,45
	<b>Total edificios no residenciales</b>				<b>8,97</b>
<b>Total nacional ICOCED</b>				<b>8,41</b>	<b>8,41</b>

Fuente: DANE-Icoced. Boletín Técnico (2022, junio, p. 15).

**Tabla 6**

Variación anual y mensual total ICCV y por tipos de vivienda. Diciembre 2010-2021

Índice de Costos de la Construcción de Vivienda - ICCV								
A1. ICCV - Variación porcentual anual y mensual, total ICCV y por tipos de vivienda								
Diciembre 2010-2021								
Años	Total nacional		Vivienda unifamiliar		Vivienda multifamiliar		VIS	
	Anual	Mensual	Anual	Mensual	Anual	Mensual	Anual	Mensual
2010	1.77	0.06	1.99	0.18	1.63	-0.01	2.13	0.17
2011	6.87	0.13	6.62	0.11	7.02	0.15	6.97	0.12
2012	2.51	0.05	2.83	0.05	2.32	0.05	2.82	0.07
2013	2.65	0.03	2.57	0.00	2.69	0.04	2.91	0.01
2014	1.81	0.09	1.88	0.10	1.76	0.08	2.00	0.06
2015	5.25	0.09	4.87	0.09	5.47	0.09	4.78	0.07
2016	3.16	-0.04	3.63	-0.01	2.88	-0.05	3.52	-0.02
2017	4.77	0.18	4.62	0.17	4.87	0.19	4.81	0.18
2018	2.49	0.09	2.51	0.08	2.49	0.10	2.59	0.10
2019	2.84	0.10	2.91	0.10	2.80	0.11	3.15	0.07
2020	4.38	0.48	4.58	0.45	4.26	0.51	4.33	0.44
<b>2021</b>	<b>6.87</b>	<b>0.02</b>	<b>6.48</b>	<b>0.06</b>	<b>7.10</b>	<b>0.00</b>	<b>6.56</b>	<b>0.02</b>
TOTAL VARIACIÓN 2016 A 2021							24.96	
TOTAL VARIACIÓN 2021							6.56	
ICOCED VARIACION AÑO CORRIDO A JUNIO DE 2022							8.2	
ICOCED VARIACION MENSUAL 2022							0.56	
ICOCED VARIACION DE JULIO A ENERO 2023							3.92	
ICOCED VARIACION DE JULIO A JUNIO 2023							6.72	
INCREMENTO DE 2016 A 2022							37.08	
INCREMENTO DE 2021 A 2022							21.48	

Fuente: DANE. Histórico del índice de costos de la construcción de vivienda (ICCV). Anexos 2021, tablas 4 y 5.

Antes de realizar el cálculo de los costos totales, por medio del uso de los índices determinados a partir de las tablas 4, 5 y 6, se observó el comportamiento del SMMLV con el incremento para el año 2023, que según la *Revista Semana* del 18 de agosto de 2022, se estimaba que el salario mínimo podría incrementarse entre un 20 y un 25 %. Por lo que el valor de las ventas indexado al año de entrega (2025) se supondrá manteniendo el promedio de incremento desde el 2015, como se muestra a continuación.

De esta manera, por medio de la tabla 7 se puede estimar el valor de las ventas para el 2025 como se indica en la tabla 8.

**Tabla 7.** Proyección de incremento de salario mínimo en Colombia.

Fuente: Elaboración propia basada en el precio histórico del salario mínimo, salariominimocolombia.net.

PROYECCIÓN INCREMENTO SALARIO MÍNIMO EN COLOMBIA.		
AÑO	SMMLV (COP)	INCREMENTO % Anual
2015	\$ 644,350	-
2016	\$ 689,455	7%
2017	\$ 737,717	7%
2018	\$ 781,242	6%
2019	\$ 828,116	6%
2020	\$ 877,803	6%
2021	\$ 908,526	3%
2022	\$ 1,000,000	10%
2023	\$ 1,200,000	20%
2024	\$ 1,296,000	8%
2025	\$ 1,399,680	8%

**Tabla 8.** Valor de ventas indexado por año de entregas. Escenario modelo financiero

Fuente: Elaboración propia basada en el precio histórico del salario mínimo, salariominimocolombia.net. y tabla 7.

Valor de ventas indexado año de entregas escenario modelo financiero								
Producto	Valor venta unidad SMMLV	Total unidades proyecto	Valor venta unidad precios 2022	Valor total ventas proyectadas 2022 (MM)	Año modelado de entrega	SMMLV indexado 2025	Valor venta unidad precios 2025	Valor total ventas proyectadas 2025 (MM)
Naranjo	138	672	\$ 138,000,000	\$ 92,736.00	2025	\$ 1,399,680.00	\$ 193,155,840.00	\$ 129,800.72
Ciudadela Foresta - Milano	138	312	\$ 138,000,000	\$ 43,056.00	2025	\$ 1,399,680.00	\$ 193,155,840.00	\$ 60,264.62



A partir de los resultados de la tabla 8, que detallan el valor de las ventas o ingresos de cada producto, y usando los porcentajes de la negociación real del terreno (11 %), participación (9 %) y contingencias (1 %) en cada caso, se obtuvo como resultado la tabla 9.

**Tabla 9**

Costos totales por producto y capítulo, calculados por índices respecto de las ventas

Costos Totales por producto calculados con índices de acuerdo a los ingresos por ventas		
NOMBRE DEL PRODUCTO	MILANO	NARANJO
Ingresos por ventas	60,264,622,080	129,800,724,480
Terreno	6,527,654,349	14,059,563,213
Participación	5,423,815,987	11,682,065,203
Contingencias	602,646,221	1,298,007,245

Fuente: Elaboración propia a partir de índices de construcción de Prodesa y la tabla 8.

Por consiguiente, los resultados de la tabla 10 muestran el cálculo del costo del producto Naranja (a partir de índices del producto Palmeto) y los costos reales indexados del producto Milano. Adicionalmente, dentro de una estructura de prefactibilidad es imprescindible tener en cuenta los costos de terreno, participación o gerencia, contingencias y financieros. Sin embargo, todos estos, a excepción de los financieros, están relacionados al valor de ventas como se evidenció en la tabla 9.

En ese orden, los costos totales por capítulo del producto Milano y Naranja en la condición sin implementación de la AE son los indicados en la tabla 10.

**Tabla 10**

Costos totales por producto y por capítulo calculados por índices de unidad de vivienda

NOMBRE DEL PRODUCTO	MILANO	PALMETO	NARANJO
Año de ejecución.	2020	2015	2018
Indexación acumulada	21,48%	37,08%	
Urbanismo interno	2.215.548.133	3.532.933.612	5.235.954.540
Edificios y dotación comunal	3.750.446.120	4.376.517.522	6.486.180.977
Vivienda	14.543.045.091	24.221.404.652	35.897.129.012
Formaleta	690.307.413	483.865.486	717.108.773
Locativas	212.908.930	297.313.544	440.631.037
Generales+ preliminares	2.010.931.445	3.166.545.621	4.692.952.300
Recuperación de IVA	(1.209.940.800)	(2.437.282.400)	(2.967.126.400)
Convenio CODENSA.	172.501.600	230.294.400	280.358.400
Diseños & otros honorarios	1.283.938.985	1.105.003.777	1.345.221.990
Comisiones y gastos	213.110.070	372.338.466	453.281.610
Derechos de conexión	446.904.268	272.320.112	331.520.137
Impuestos	690.915.518	904.075.863	1.102.972.553
Promoción	498.617.090	1.479.149.913	1.800.704.242
Administración comunidades	336.365.972	304.037.628	370.132.764
Notariales y registro	634.125.600	449.649.405	547.399.275

Fuente: Elaboración propia a partir de índices de construcción de Prodesa y la tabla 6.

Finalmente, en el desarrollo de este estudio se cotizó lo que costaría la incorporación de la AE en viviendas VIS, junto a los beneficios que se desglosan en el estudio legal. Se obtuvo en la condición con proyecto que los productos Milano y Naranjo tendrían un costo adicional de COP \$176.310.983 para cada uno. De este modo, el beneficio calculado por exención del IVA se estima en COP \$10.020.296,57. Así mismo, se estima que, por la ejecución de cada iniciativa, la empresa constructora o promotora podría tener un beneficio equivalente a COP \$33.000.000 en cuanto a la declaración de renta.

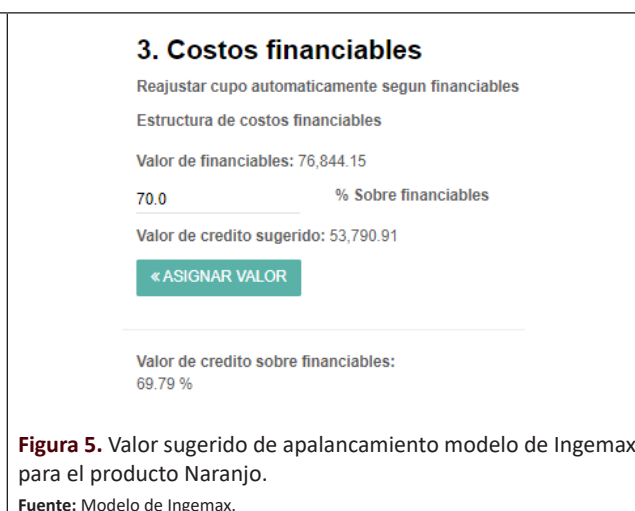
De esta manera, se obtiene la estructura de costos de los flujos de la condición con proyecto o incluyendo la iniciativa aplicada a los productos VIS analizados previamente.

### 4.3 Evaluación financiera

Considerando la proyección de la inflación acelerada que se viene presentando en el primer semestre de 2022, y que para el mes de julio del mismo año se presenta una variación equivalente al 10,21 % (*El Espectador*, 2022, agosto), se considera este parámetro en la configuración del modelo financiero de Ingemax, para que calcule el valor de la provisión de incremento de precios.

Adicionalmente, con el resultado obtenido en el estudio de presupuestos y los ingresos calculados, el modelo financiero de Ingemax sugiere un apalancamiento de \$25.59 millones para el 70 % de los costos financieros en el caso del producto Milano (figura 4).

Así mismo, para el producto Naranjo se estima un apalancamiento equivalente a \$53.790 millones, calculado sobre un 70 % de los costos financieros, como se muestra en la figura 5. Aunque el modelo sugirió dichos valores de apalancamiento, al realizar la modelación con los ingresos y los costos, el modelo evidencia que no se requiere el desembolso total del apalancamiento sugerido en cada caso; por lo tanto, el desembolso que se modeló fue de \$25.153 y de \$52.543 millones, respectivamente.



Para modelar el costo financiero en ambos casos se utilizó una tasa del 10 % + 3,5 de *spread*, considerando que la DTF para el primero de agosto de 2022 fue de 10,01 %, según lo publicado por el Banco de la República en el documento de series históricas semanales.

En cuanto a la parametrización del inicio de ventas, se supuso el mes de agosto de 2022 con el ritmo de ventas promedio real que obtuvo cada producto (analizado en el estudio de mercado), de tal forma que, contemplando la ejecución de costos para un producto similar a Naranjo, se supone un inicio de construcción en junio de 2023, y para Milano en enero de 2023, garantizando de esta manera un punto de equilibrio en ventas del 70 % en cada caso. Finalmente, al obtener los flujos de caja de Milano y Naranjo, se evaluó la TIR y VPN en ambos casos, tanto para el proyecto como para el promotor.

Debido a que los flujos de caja no son convencionales, dado que en periodos intermedios pueden presentar déficit de caja, se calculó el flujo por el método del descuento y, usando la fórmula del modelo LCAMP, fue posible calcular los respectivos indicadores. De esta manera, para el cálculo del VF fue necesario conocer la tasa de descuento calculada por medio de la ecuación 1. Del mismo modo, se obtuvo la tasa riesgo país a través de la ecuación 2.

Como resultado, la tasa de descuento igual al 19,8 % que se muestra en la ecuación 1 se empleó para calcular el VF y también para el cálculo del VPN. Es así como, del flujo de caja obtenido para el caso de Milano en la condición con proyecto, se tiene que la TIR del promotor es 21,22 % y del proyecto es del 21,19 %, lo cual significa, por medio de este indicador, que el proyecto es viable pues supera la tasa  $w$  de la ecuación 1.

En cuanto al VPN del proyecto, se obtuvo un resultado de \$649.172.660,14 para el proyecto y un VPN del promotor de \$ 762.351.738,18, lo cual significa que el proyecto es viable.

En el caso de Naranjo, del flujo de caja obtenido en la condición con proyecto, la TIR del promotor fue equivalente a 21.23% y del proyecto fue 21.31%, lo cual significa por medio de este indicador que el proyecto es viable, pues supera la Tasa  $w$  de la ecuación 1. Por su parte en el VPN del proyecto, se obtuvo un resultado de \$ 713,767,881.57 para el proyecto y un VPN del promotor \$ 805,994,529.98, que significa que el proyecto es viable.

**Ecuación 1.** Cálculo de tasa de descuento.

$$Tasa_w = Tasa_{PM} + \beta(Tasa_{PM} - Tasa_{LR}) + Tasa_{RP}$$

$$Tasa_w = 6.01\% + 1.69(6.01\% - 3.26\%) + 9.16 = 19.8\%$$

Fuente: Fórmula modelo LCAPM.

Sea:

Tasa<sub>w</sub>: Tasa WACC o Tasa de descuento.

Tasa<sub>PM</sub>: Tasa promedio del mercado Damodaran sin financieros.

$\beta$ : Beta de construcción de vivienda Damodaran.

Tasa<sub>LR</sub>: Tasa Libre de Riesgo Estados Unidos, Tesoros a largo plazo.

Tasa<sub>RP</sub>: Tasa Riesgo País.

**Ecuación 2.** Cálculo de tasa riesgo país.

$$Tasa_{RP} = Tasa_{LRC} - Tasa_{LR}$$

$$Tasa_{RP} = 12.42\% - 3.26\% = 9.16\%$$

Fuente: Fórmula modelo LCAPM.

Sea:

Tasa<sub>LR</sub>: Tasa Libre de Riesgo Estados Unidos, Tesoros a largo plazo. De la página datos macro para el 01 de septiembre de 2022, con plazo a 10 años.

Tasa<sub>LRC</sub>: Tasa Libre de Riesgo Colombia, Tesoros a largo plazo. Tomada del boletín de la subasta TES del 24 de agosto de 2022 del Banco de la República con plazo a 10 años.

### 4.3.1 Análisis de sensibilidad

Con el fin de evaluar diferentes condiciones para la viabilidad de cada proyecto se analizó la condición sin proyecto y la condición con proyecto, es decir, incluyendo la AE y sin esta, para lo cual se realizaron variaciones en el Beta, usando los mencionados en la tabla 11 relacionados con el sector de vivienda y también el de energía renovable.

**Tabla 11**  
Betas Damodaran

Cálculo de $Tasa_w$ a partir de diferentes Beta		
Nombre de la industria	Beta	Tasa $w$
Ingeniería/construcción	1.06	18,1%
Energía verde y renovable	1.59	19,5%
Construcción de vivienda	1.69	19,8%
Bienes raíces (desarrollo)	1.06	18,1%
Bienes raíces (general diversificado)	0.91	17,7%

Fuente: Tabla de Damodaran y fórmula ecuación 1.

De la tabla 11 se dieron a conocer en la evaluación financiera los resultados del Beta de construcción de vivienda en una alternativa que incluía la AE para los dos productos evaluados. Sin embargo, con el fin de comprender si realizar la iniciativa generaría algún impacto, se elaboró el flujo de caja que muestra la condición sin incluir la iniciativa de la AE en Milano y el flujo de caja para demostrar la alternativa sin proyecto (AE) para Naranjo. En ambos casos, igual que en la evaluación financiera, se evaluó con el Beta de construcción de vivienda de Damodaran.

Por lo tanto, al contar con los flujos de cada escenario, que muestran la inclusión de la AE y los mismos productos en una condición normal en la cual no se implementaría, se cambió el Beta en la ecuación 1 de la tasa de descuento. De esta manera, fue posible comparar los resultados de la TIR y VNA obtenidos para cada Beta, para Milano y posteriormente para Naranjo, como se muestra en las tablas 12 y 13.

En la tabla 12 se puede concluir que, al usar los diferentes Betas tanto para la condición con proyecto como sin la implementación de la iniciativa, la TIR obtenida en cada caso para el proyecto y para el promotor es superior a la tasa  $w$  (que representa el costo de oportunidad del inversionista), lo que indica que la iniciativa es viable. De igual forma, al comparar los VPN obtenidos de la condición con proyecto versus la condición sin proyecto, en un producto con las características de Milano, la iniciativa generaría un valor agregado.

**Tabla 12**  
Cálculo de TIR y VPN Milano (condición con proyecto y sin proyecto)

Nombre de la industria	Beta	Tasa $w$	Condición con proyecto				Condición sin proyecto			
			proyecto		promotor		proyecto		promotor	
			TIR	VPN	TIR	VPN	TIR	VPN	TIR	VPN
Ingeniería/construcción	1,06	18,1%	19,53%	\$ 807,87	19,54%	\$ 935,76	19,39%	\$ 714,61	19,42%	\$ 840,91
Energía verde y renovable	1,59	19,5%	20,92%	\$ 672,32	20,95%	\$ 787,65	20,79%	\$ 592,01	20,84%	\$ 705,78
Construcción de vivienda	1,69	19,8%	21,19%	\$ 649,17	21,22%	\$ 762,35	21,05%	\$ 571,07	21,10%	\$ 682,69
Bienes raíces (desarrollo)	1,06	18,1%	19,53%	\$ 807,87	19,54%	\$ 935,76	19,39%	\$ 714,61	19,42%	\$ 840,91
Bienes raíces (general diversificado)	0,91	17,7%	19,13%	\$ 850,59	19,14%	\$ 982,42	19,00%	\$ 753,25	19,02%	\$ 883,49

Fuente: Tabla de Damodaran. Flujos de caja Milano y Naranjo.

Finalmente, de la tabla 13 se concluye que, al usar los diferentes Betas tanto para la condición con proyecto como sin la implementación de la iniciativa, la TIR obtenida en cada caso para el proyecto y para el promotor es superior a la tasa  $w$  (que representa el costo de oportunidad del inversionista), lo que indica que la iniciativa es viable. Sin embargo, al comparar los VPN obtenidos de la condición con proyecto versus la condición sin proyecto, en un producto con las características de Naranjo, la iniciativa no presenta un cambio representativo con respecto a la condición sin proyecto.

**Tabla 13**

Cálculo de TIR y VPN Naranjo (condición con proyecto y sin proyecto)

Nombre de la industria	Beta	Tasa $w$	Condición con proyecto				Condición sin proyecto			
			TIR proyecto	VPN Proyecto	TIR promotor	VPN Promotor	TIR proyecto	VPN Proyecto	TIR promotor	VPN Promotor
Ingeniería/construcción	1,06	18,1%	19,72%	\$ 934,99	19,62%	\$ 1.044,74	19,73%	\$ 941,69	19,63%	\$ 1.050,76
Energía verde y renovable	1,59	19,5%	21,05%	\$ 745,45	20,98%	\$ 840,14	21,06%	\$ 750,81	20,98%	\$ 844,94
Construcción de vivienda	1,69	19,8%	21,31%	\$ 713,77	21,23%	\$ 805,99	21,31%	\$ 718,91	21,24%	\$ 810,59
Bienes raíces (desarrollo)	1,06	18,1%	19,72%	\$ 934,99	19,62%	\$ 1.044,74	19,73%	\$ 941,69	19,63%	\$ 1.050,76
Bienes raíces (general diversificado)	0,91	17,7%	19,34%	\$ 996,08	19,24%	\$ 1.110,78	19,34%	\$ 1.003,22	19,24%	\$ 1.117,21

Fuente: Tabla de Damodaran. Flujos de caja Milano y Naranjo.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el análisis realizado en el estudio de presupuestos, se calculó el beneficio y el costo de la implementación de la AE en los productos Milano y Naranjo y se obtuvo el mismo costo de implementación de AE; sin embargo, el presupuesto total calculado por medio de índices tuvo un resultado diferente dadas las características y tamaño de cada uno.

Dado que en el estudio técnico se modeló el mismo sistema FV en las urbanizaciones Milano y Naranjo, el costo de la implementación de la iniciativa, el cual se indicó en el presupuesto, es el mismo para ambas urbanizaciones analizadas.

Como recomendación para futuras urbanizaciones, se sugiere evaluar en ingeniería de detalle la posibilidad de incrementar la potencia instalada de los sistemas FV, de forma que se pueda abastecer la demanda de energía de otras zonas ajenas a los servicios comunes (por ejemplo, las unidades residenciales) de las urbanizaciones, sin afectar la viabilidad del proyecto.

De los estudios de formulación se pudo obtener la información necesaria para evaluar las mejores alternativas que permitieron obtener la viabilidad a un nivel de prefactibilidad.

Fue posible realizar una modelación de las iniciativas en Ingemax y se obtuvieron como resultado los flujos de caja tanto del proyecto como del promotor. Gracias a esto, se pudo comprobar, por medio de los indicadores financieros, la viabilidad de la incorporación de la AE en urbanizaciones VIS para los productos definidos desde el estudio de mercado.

El estudio ambiental permitió evidenciar que la incorporación de este tipo de iniciativas a los proyectos de vivienda VIS en el área metropolitana de la sabana de Bogotá no genera impactos negativos significativos; por el contrario, presenta diversos beneficios al agregar valor ambiental.

De acuerdo con la situación actual de Colombia, en lo que respecta al Gobierno de 2022 a 2026, bajo la presidencia de Gustavo Petro, se considera que existe para el sector constructor una amenaza, dado que la nueva reforma que no ha entrado en vigor a septiembre de 2022 pretende suprimir algunos de los incentivos para el desarrollo de proyectos de vivienda VIS. También se considera un panorama de incertidumbre por parte del Ministerio de Vivienda designado, en lo que respecta a programas de subsidio para personas de bajos recursos, como Mi Casa Ya, que han funcionado desde el año 2015 y les permitía a los colombianos financiar parte de su primera vivienda. Lo anterior dificulta el cierre financiero para que las personas puedan adquirir vivienda y afecta el ritmo de ventas de los futuros desarrollos.

A través del estudio técnico se pudo verificar el potencial que tiene la AE, basada en la energía solar FV en el área de estudio, para abastecer la energía eléctrica demandada por las zonas comunes de una urbanización VIS y simultáneamente presentar excedentes de energía que pueden ser reinyectados a la red de distribución local. Sin embargo, la viabilidad técnica dependerá siempre de la urbanización particular y sus características relacionadas principalmente con áreas de cubierta, ubicación y cargas eléctricas por abastecer, las cuales deberían ser analizadas en detalle en una etapa de estudio de factibilidad.

## REFERENCIAS

- Bohórquez, K.S. (2018, 4 de mayo). Hay 122 edificios con certificados de sostenibilidad en el país. La República. <https://www.larepublica.co/infraestructura/hay-122-edificios-con-certificados-de-sostenibilidad-en-el-pais-2722297>
- Bustamante, N. (2016, 13 de diciembre). En Lorenzo Morales, 560 familias beneficiadas con paneles solares. El Pílon. <https://elpilon.com.co/lorenzo-morales-560-familias-beneficiadas-paneles-solares/#:~:text=13%20diciembre%2C%202016-,En%20Lorenzo%20Morales%2C%20560%20familias%20beneficiadas%20con%20paneles%20solares,toneladas%20de%20di%C3%B3xido%20de%20carbono>
- Celsia. (2018, 7 de junio). Requisitos para instalar energía solar en empresas y hogares. <https://blog.celsia.com/new/requisitos-energia-solar-empresas-hogares/>
- DANE (2021, diciembre). Histórico del índice de costos de la construcción de vivienda (ICCV). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indice-de-costos-de-la-construccion-de-la-vivienda/iccv>
- DANE (2022, junio). Índice de Costos de la Construcción de Edificaciones (Icoced). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-costos-de-la-construccion-de-edificaciones-icoced>
- El Espectador (2022, agosto). La inflación vuelve a dos dígitos: fue del 10,21 % anual a julio de 2022. <https://www.elespectador.com/economia/macroeconomia/la-inflacion-llego-a-dos-digitos-fue-del-1021-anual-a-julio-de-2022/>
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2022, 11 de febrero). Generación de energía limpia entre la Escuela y Celsia S.A. <https://www.escuelaing.edu.co/es/noticias/la-escuela-colombiana-de-ingenieria-julio-garavito-y-celsia-sa-suscriben-convenio-para-producir-mas-energia-limpia-en-el-campus-universitario/>
- Machuca, D. (2022). The pricing of liquidity risk in the Colombian stock market. Universidad de los Andes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/56881/The%20pricing%20of%20liquidity%20risk%20in%20the%20colombian%20stock%20market.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Mutis, S. (2021). ¿Qué buscan los compradores de vivienda en Colombia? <https://www.semana.com/mejor-colombia/articulo/que-buscan-los-compradores-de-vivienda-en-colombia/202100/>
- Ley 1715 de 2014. (2014, 13 de mayo). Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Congreso de la República de Colombia. Diario oficial N.º 49.150. [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)
- Ley 1715 de 2014 (2014). Cartilla IGE. Incentivos tributarios. Ley 1715 de 2014. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). [https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla\\_IGE\\_Incentivos\\_Tributarios\\_Ley1715.pdf](https://www1.upme.gov.co/Documents/Cartilla_IGE_Incentivos_Tributarios_Ley1715.pdf)
- Ley 1955 de 2019. (2019, 25 de mayo). Plan Nacional de Desarrollo 2018 al 2022. “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”. Congreso de la República de Colombia. Diario oficial N.º 50.964. [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1955\\_2019.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1955_2019.html)
- Ley 2099 de 2021. (2021, 10 de julio). Ley de transición energética. Congreso de la República de Colombia. Diario oficial N.º 51.731. [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_2099\\_2021.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_2099_2021.html)

López, J.D (2019, junio). Algunas reflexiones acerca de las implicaciones de la inclusión de autogeneración eléctrica sobre el AGC en el funcionamiento del mercado eléctrico mayorista colombiano [Tesis de Maestría en Economía Aplicada]. Universidad Eafit. Colombia. [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15892/JulianDavid\\_LopezAristizabal\\_20%2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/15892/JulianDavid_LopezAristizabal_20%2019.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Pedrosa, E., & Vásquez, J.A. (2014). Diseño de un sistema eléctrico residencial con energía solar para suministrar energía a la red eléctrica de una vivienda unifamiliar en Yopal-Casanare [Tesis de pregrado], Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Yopal (Casanare). <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/2650/80853902.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Revista Semana. (2022, agosto). Salario mínimo para 2023 podría subir 20 o 25 %, según Fedesarrollo. <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/salario-minimo-para-2023-podria-subir-un-20-o-25-segun-fedesarrollo/202257/>

Revista Semana. (2022, marzo). Déficit de vivienda en Bogotá: esto proponen las constructoras para superarlo. Entrevista a Constructoras Amarillo y Apiros. <https://www.semana.com/hablan-las-marcas/articulo/deficit-de-vivienda-en-bogota-esto-proponen-las-constructoras-para-superarlo/202232/>

Ruiz, J. et al. (2018, 26 de octubre). Implementación del Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, 113, pp. 21-29.

Sustainable Development Goals Fund. (s.f). <https://www.sdgfund.org/es/objetivo-7-energ%C3%ADa-asequible-y-sostenible#:~:text=Para%20garantizar%20acceso%20universal%20a,de%20electricidad%20en%20los%20edificios.>