



Universidad de la Sabana

Maestría en Gerencia de Ingeniería

Análisis de viabilidad de un modelo de negocio para la integración de sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Caso de estudio: Ciudad de Montería

Autores: Jorge E. Calao, Juan S. Osorio

Director: Esteban López Arboleda

Bogotá, Colombia 2022

Tabla de Contenido

1.	Resumen	4
2.	Introducción	5
3.	Definición del problema.....	6
4.	Objetivos	15
5.	Metodología.....	16
6.	Marco conceptual	19
	Estado del arte.....	19
	Barreras de la implementación de sistemas FV	19
	Modelos de negocio	21
	Modelos de financiación	24
	Adopción de los sistemas FV en Colombia	26
	Proyectos exitosos de energía solar en Colombia.....	28
7.	Análisis externo.....	31
	Aspectos políticos.....	31
	Aspectos económicos	32
	Aspectos socioculturales	33
	Aspectos tecnológicos	33
	Aspectos ambientales.....	33
	Aspectos legales	34
8.	Matriz BCG	36
	Sector de la construcción	36
	Sector comercio e industria.....	37
	Sector educación	38
	Interrogantes	40
	Estrellas.....	41
	Vacas de efectivo.....	41
	Perros.....	42
9.	Análisis interno: modelo de negocio Canvas	43
	Segmento de Clientes.....	44
	Propuesta de valor.....	48
	Canales y relación con clientes.....	49

Fuentes de ingreso	49
Recursos clave	50
Actividades clave	51
Asociaciones clave	51
Estructura de costos	51
10. Caracterización de clientes	54
Comportamiento mensual de la demanda de energía eléctrica en la ciudad de Montería.....	55
Curvas de demanda	56
Escenarios de demanda.....	58
11. Dimensionamiento de los sistemas FV	61
Dimensionamiento del sistema	61
Simulación del sistema FV	61
Costos	66
CAPEX.....	67
Facturación anual de energía eléctrica.....	67
12. Análisis de viabilidad.....	70
Definición del mercado a servir.....	70
Simulación de la demanda y CAPEX	70
Análisis financiero.....	72
13. Conclusiones	77
Referencias	80
Anexo 1 – Mercado del servicio eléctrico en la ciudad de Montería	84
Anexo 2 – Evolución del Precio del kWh	88
Anexo 3 – Demanda de energía eléctrica ciudad de Montería	89
Anexo 4 – Simulaciones.....	90

1. Resumen

Con el objetivo de determinar la viabilidad financiera de la implementación de sistemas fotovoltaicos (FV) bajo la modalidad *Third Party Ownership* - (TPO) o *Direct Owner* (DO), para los casos de autoconsumo y venta de excedentes, como una solución a los altos costos causados por la alta demanda de energía eléctrica en Montería; se caracterizaron, modelaron y simularon diferentes perfiles de cliente para la región.

El análisis consideró la identificación de segmentos de interés y de las principales barreras de implementación de los sistemas FV para la realización de una propuesta de valor ajustada, que contempla factores diferenciadores en un modelo financiero y busca incrementar los índices de adopción de esta tecnología.

El modelo financiero realizado para los segmentos residencial, comercial y educativo; determinó por medio de simulaciones de Montecarlo el comportamiento de la demanda energética anual para el público objetivo, con el fin de dimensionar y determinar la potencia nominal requerida para los sistemas FV, y así poder evaluar la viabilidad económica del proyecto de acuerdo con el tipo de cliente.

Además, se desarrolló un esquema de negociación que permite generar un ahorro inmediato en la facturación mensual de energía eléctrica al usuario final, bajo la premisa de mantener un nivel de rentabilidad óptimo que sea atractivo para los inversionistas.

Los resultados evidencian que no todos los segmentos son viables bajo el mismo modelo. En el caso del segmento comercial, por ejemplo, la mejor combinación está dada por autoconsumo, mientras que, para el segmento educativo, tanto la opción de autoconsumo, como la de venta de excedente, son la mejor opción, considerando en ambos escenarios la importancia del CAPEX (*capital expenses*).

Por lo tanto, al evaluar la viabilidad de los diferentes modelos para los tres segmentos, y cumplir con un valor mínimo de Tasa Interna de Retorno (TIR) del 10% respecto del ahorro generado por la implementación del sistema; se concluyó que el segmento con mayor viabilidad y rango de negociación está dado por el educativo, seguido por el comercial. Por su parte, el segmento residencial, bajo este tipo de modelo de negocio, no es atractivo.

2. Introducción

La creciente preocupación por la forma en la que la evolución humana, dentro de sus procesos de industrialización, ha generado un desarrollo poco sostenible para la vida en el planeta en el largo plazo, ha provocado que se busquen mecanismos tecnológicos y procedimentales que minimicen el daño que la humanidad le ha provocado al planeta.

Teniendo en cuenta que el consumo energético se encuentra dentro de los puntos pivotes de la estabilidad y supervivencia para el futuro de la humanidad, en el presente trabajo se desarrolla un análisis de la implementación de una de las alternativas energéticas que existen actualmente, a saber, la energía fotovoltaica o solar, la cual es mucho más sostenible que la principalmente utilizada en países como Colombia, que se fundamenta en hidroeléctricas.

Sobre esta supuesto, se busca determinar el alcance, así como las limitaciones que podría llegar a tener la implementación de un proyecto de esta naturaleza, bajo un escenario que considere las implicaciones de modelo de negocio, desde el punto de vista metodológico, procedimental y financiero.

Por lo tanto, se busca que el presente documento genere una mejor comprensión y dimensión de los factores que contribuirían al éxito de proyectos de energía fotovoltaica.

3. Definición del problema

La preocupación actual de la sociedad sobre los efectos colaterales y el impacto en la continuidad de la humanidad como especie en el largo plazo como consecuencia del I descontrolado nivel de producción mundial, más allá de un desarrollo sostenible, ha generado, entre otros, la emisión de Normativas y Regulaciones gubernamentales con el fin de controlar la forma en la que la acción del ser humano impacta al ambiente.

Europa

La Unión Europea (UE) estima llegar a ser la primera región en el mundo declarada neutra en huella de carbono. Es por esto que se ha planteado como meta la normalización de la emisión y absorción de gases de efecto invernadero con un plazo máximo a 2050. Este plan hace parte del denominado Pacto Verde Europeo, que, a su vez, es el estandarte de la Comisión Úrsula Von Der Leyen, que busca descarbonizar todos los sectores económicos del espectro industrial (António Guterres, 2020).

De este modo, el reemplazo de las fuentes de energía tradicionales por energías renovables se constituye en un eje central en el cumplimiento de esta ambiciosa meta intergubernamental, ya que, según estimaciones, el consumo energético es el responsable del 75% de las emisiones de gases efecto invernadero a nivel global (António Guterres, 2020).

Por tanto, la Unión Europea ha delineado un plan de choque en el que sus Estados Miembro se han comprometido a reducir su consumo energético. Así las cosas, al menos el 32% de sus necesidades energéticas han de ser suplidas mediante energías renovables para el 2030. De esta forma, se espera que para este año se logren reducir en hasta un 55% las emisiones de efecto invernadero en la zona euro (European Commission, 2020).

En diciembre de 2019, bajo el denominado Acuerdo Verde, la Unión Europea reiteró su estrategia de reducción de emisiones, la cual se encuentra enmarcada en las siguientes medidas de categorización (European Council, 2021):

- Invertir en tecnologías amigables con el ambiente.
- Apoyo a las innovaciones relacionadas con la reducción del cambio climático.

- Ayuda en el desarrollo de metodologías de transporte más limpias.
- Descarbonizar el sector energético.
- Asegurar la construcción de edificaciones con mejor eficiencia energética.
- Apoyo internacional para mejorar los estándares de protección ambiental.

De hecho, ya para el 2020, la energía renovable en el mundo representaba era la responsable del 19,7% del consumo energético global (Merino, 2021). No obstante, de acuerdo con lo proyectado, tal nivel aún se encuentra un 0.3% por debajo de lo esperado.

Cabe resaltar en particular a la región nórdica, donde se ha dado la mejor adopción de este tipo de medidas. En el caso de Noruega, por ejemplo, miembro activo del Mercado de Emisiones Europeo, aunque no de la Unión Europea, se ha logrado que el 93,4% de la producción nacional energética sea a través de mecanismos hidroeléctricos; además, el 75% del consumo, que incluye los productos importados, tiene su origen en manufactura que usa energías renovables.

De forma similar, en los países vecinos de Noruega, también se han hecho importantes desarrollos; por ejemplo, el uso de energías renovables en los procesos de producción alcanza un 56% de los casos en Suecia, 43% en Finlandia y 37% en Finlandia. De estos, como media, el 57% proviene de energía eólica.

Por su parte, Bruselas ha diseñado el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (UE ETS). A través de este, se emiten permisos de Carbono bajo un principio de marginalidad decreciente. Así se va creando una oferta descendente de estos permisos dirigida a centrales eléctricas, fábricas industriales y aerolíneas, quienes son los tipos de empresas con mayor registro de contaminación por uso de energías fósiles.

El siguiente gráfico muestra, país por país, el nivel proyectado en 2017 y la forma en que avanzaron para 2020:

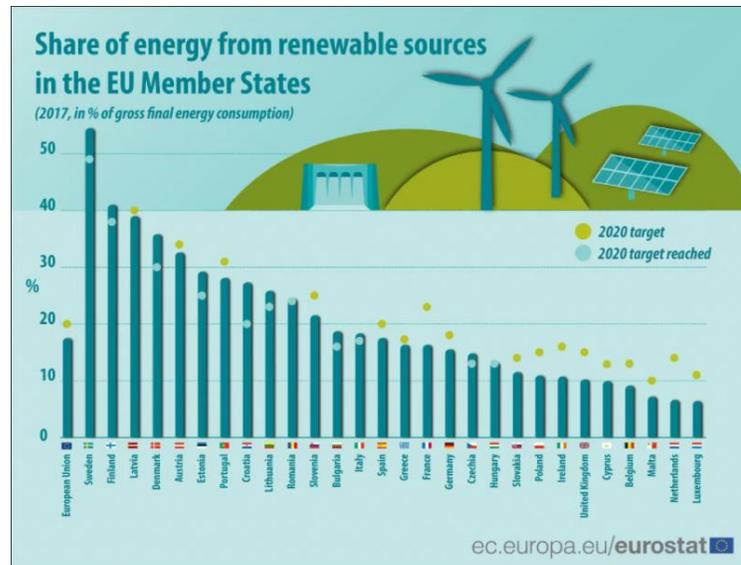


Figura 1. Generación de energía renovable en la Unión Europea

Fuente: (Eurostat Statistics Explained, 2017)

El aumento del uso de las energías renovables tiene múltiples beneficios para la sociedad, como la mitigación del cambio climático, la reducción de la emisión de contaminantes atmosféricos y la mejora de la seguridad energética. La UE se había fijado el objetivo de garantizar que el 20% de su consumo final bruto de energía, procediera de fuentes renovables en 2020, aumentando hasta el 32% para 2030 (European Environment Agency, 2022).

La UE cumplió su objetivo para 2020, con un consumo de energía renovable que pasó del 19,9% del consumo final bruto de energía en 2019, al 22,1% en 2020. Esto fue impulsado por el crecimiento sostenido de la generación de electricidad a partir de fuentes de energía renovables (FER), que pasó del 34,1% al 37,5% en 2020. La cuota de energía renovable en el transporte y los edificios (calefacción y refrigeración) también aumentó en el mismo período, aunque a un ritmo menor (European Environment Agency, 2022).

Si se expande el espectro de análisis por fuera del ámbito de aplicación de la Unión Europea, se observa que esta es una tendencia a nivel mundial:

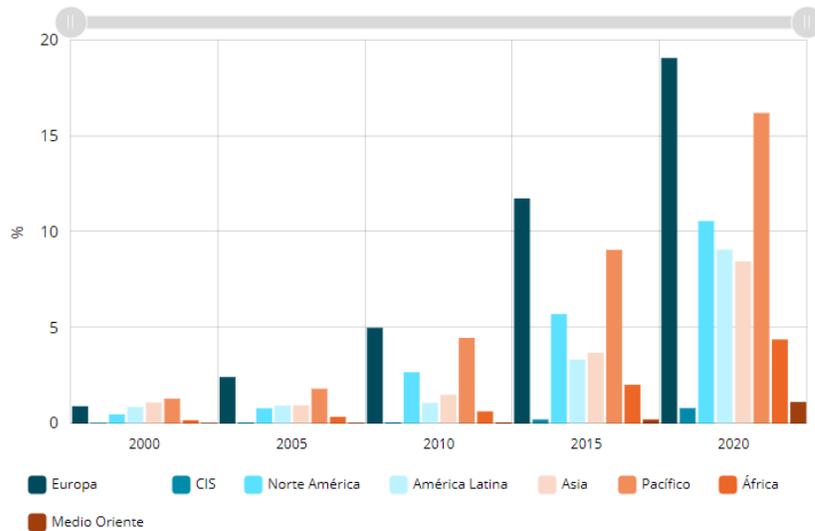


Figura 2. Tendencia porcentual de Energías Renovables 1990 a 2020

Fuente: (Enerdata, 2021)

Tras un importante aumento entre 2019 y 2020 (+1,75 puntos), la generación mundial de energía renovable se mantuvo estable en 2021.

La cuota de renovables en el mix energético es especialmente alta en países con grandes recursos hidroeléctricos como Brasil, Canadá, Suecia o Noruega (con más de 2/3 de la electricidad generada). Sin embargo, esta cuota ha aumentado recientemente debido a las ambiciosas políticas de renovables, así como el impacto que tiene la continua caída de los costos de las tecnologías solar y eólica en el aumento de la generación de energía renovable, sobre todo desde 2010.

Esta cifras evidencian lo dicho anteriormente en algunas de las economías más importantes: el Reino Unido, +33 puntos porcentuales, hasta llegar al 41%); Alemania, +24 pts. hasta el 41%; Países Bajos +23 pts. hasta el 33%; China, +10 pts. hasta el 29%; Estados Unidos, +10 pts. hasta el 21%; Australia, +18 pts. hasta el 27%; por su parte, Corea del Sur y Sudáfrica incrementaron 7 puntos porcentuales. hasta llegar cada uno al 9%.

En general, desde 2010, la proporción de fuentes de energía renovables (incluida la hidroeléctrica) en el mix de generación de energía mundial aumentó en 8 puntos, hasta superar el 28% del mix energético (Enerdata, 2021).

La Unión Europea, consciente de los costos implícitos en el suministro de energías fósiles, ha acordado destinar hasta el 30% de su presupuesto general, entre 2021 y 2027, para enfrentar el cambio climático y sus efectos, vía generación de sus propias centrales de energía limpia (*European Council, 2021*). Esto supera el uso del 20% de tales presupuestos, en comparación a los usado entre 2014 y 2020.

Bajo una distribución de aplicabilidad de energías renovables por tipología, puede observarse lo siguiente para el año 2020 en todo el mundo (Enerdata, 2021).

- La oferta de energía eólica y solar se vio incrementada en 1,2%.
- La generación de energía eólica aumentó un 12%.
- La captación de energía eólica, con base en las corrientes marinas, se incrementó en un 16%, principalmente por las aportaciones de Reino Unido, China, Alemania y Bélgica. De hecho, en los últimos 5 años, estos cuatro países han colocado en servicio más de 20 GW, lo que representa cerca del 90% de las adiciones realizadas durante este periodo a nivel global.
- La oferta de energía solar creció en un 20%.
- La energía térmica, principalmente la derivada del carbón, presento una reducción significativa.
- Se han instalado más de 126 GW de capacidad solar en el mundo.
- La capacidad eólica mundial se expandió en más de 112 GW.
- China concentró más del 65% de la adición de capacidad eólica del mundo, con más de 72 GW; además, de un 39% de las adiciones de capacidad solar, con un incremento de 49 GW.
- China ha aumentado su potencial eléctrico renovable eólico en un 16% y el solar del 21%.

Los costos de implementar energías renovables en Estados Unidos cayeron un 13%, para la energía eólica, y 18% para la energía solar.

Las energías renovables hoy representan el 11% de la oferta energética en Estados Unidos.

Colombia

El mercado está experimentando una gran aceleración que se refleja en la instalación de 710 MW de energía solar fotovoltaica hasta abril de 2022, donde la mayoría de estos son sistemas solares conectados a la red eléctrica. Esta cifra es sustancialmente superior a la capacidad fotovoltaica acumulada en el país a finales de 2021 (ECKHART GOURAS, 2022).

La historia de la adopción de la energía solar fotovoltaica en Colombia inició en 2014 con una legislación para promover las energías renovables. Sin embargo, se necesitaron otros cuatro años para que surgieran las políticas e incentivos adecuados. En consecuencia, en 2018 el país solo contaba con una instalación fotovoltaica significativa, con una capacidad de 18 MW. Esto representó un desajuste bastante grande para la mayor competitividad de la energía solar fotovoltaica en 2018, especialmente a la luz de la excepcional irradiación de Colombia, alrededor del 60% más alta que el promedio mundial (ECKHART GOURAS, 2022).

Con un entorno político mejorado, que incluye atractivos incentivos fiscales, las tres subastas públicas del país han sido un éxito. Se han adjudicado 2 800 MW de energías renovables en estas subastas, lo que ha fomentado un aumento de las principales instalaciones fotovoltaicas en el país. Cada dos semanas se inauguran plantas solares. La italiana Enel Green Power lidera este tipo de proyectos, donde el mayor proyecto solar de Colombia se conectó a la red nacional el hace seis semanas. Desarrollado, y propiedad de Enel Green Power, este parque solar en La Loma cuenta con 187 MW de capacidad de energía limpia, más de lo que el país había instalado acumulativamente en energía fotovoltaica a finales de 2021 según las estadísticas más recientes publicadas por la Agencia Internacional de Energías Renovables (ECKHART GOURAS, 2022).

Enel ya había levantado la liebre en 2019 con la construcción de una central fotovoltaica de 87 MW en El Paso, también en el departamento del Cesar. Los fabricantes chinos de primer nivel de energía fotovoltaica y almacenamiento de baterías, *Canadian Solar* y *Trina Solar*, también han encabezado el mercado. Trina desarrolló 100 MW de activos fotovoltaicos, que posteriormente vendió a la empresa de servicios públicos colombiana Isagen. El fondo canadiense *Brookfield* es ahora el principal propietario de

estos 100 MW, de los cuales 60 MW ya están en funcionamiento, mientras otros 40 MW entran en operación en el tercer trimestre de 2022 (ECKHART GOURAS, 2022).

Justo en marzo de 2022, el país comenzó la construcción de la mayor central fotovoltaica de Sudamérica, excluyendo el mercado brasileño. Aquí *Green Power* también está detrás de este proyecto, planta de 500 MW que debería estar terminada a finales de 2022, y que entregará energía a la red nacional a principios de 2023. Se prevé que los precios sigan bajando en las subastas públicas del país en un rango de 0,025 a 0,027 dólares/kWh. Pero, también se esperan “choques temporales” debido a las actuales limitaciones de la cadena de suministro de energía fotovoltaica (ECKHART GOURAS, 2022).

Las subastas públicas seguirán siendo un instrumento político importante para establecer un mercado fotovoltaico sólido en Colombia, pero la aparición de subastas privadas ha servido para diversificar el mercado en general (ECKHART GOURAS, 2022).

En el marco local, Colombia ha declarado que desea estar alineada con la corriente mundial para la implementación de energías renovables, como muestra de ello, en 2017 el país proclamó, a través de la Ley 1844, su adhesión al Acuerdo de París. Esto significa que se compromete, entre otros, a reducir su emisión de gases de efecto invernadero en, al menos, un 20% para 2030. Así se incentivará la masificación del uso de energías renovables y se enfrentará la relación inversa entre reservas y la producción de energías fósiles, lo que pondría en riesgo el sistema energético colombiano (Ministerio de Minas y Energía, 2020).

La ciudad de Montería, que se encuentra en la costa caribe colombiana, es una zona con grandes demandas energéticas. El consumo total de energía eléctrica y combustibles en el municipio es de 1 399 [GWh/año]. La región Caribe presenta tarifas promedio más altas, si se compara con las que se pagan en el resto del país. Por ejemplo, un usuario paga en Riohacha, ciudad ubicada también en la costa Caribe, 946,6 pesos por KW, mientras que en Bogotá, se pagan 638,6 pesos por KW (Revista Semana, 2022), Además, se presenta deficiencia en la prestación del servicio. Montería creó en 2018 una estrategia energética local, bajo un modelo de desarrollo sostenible, que aprovecha el potencial de energías renovables y eficiencia energética de forma equitativa (Revista Semana, 2022).

Para el caso colombiano, un 70% de la capacidad energética instalada es de tipo hidroeléctrico, lo cual señala que existen potenciales para la implementación de modelos de energías renovables, ya que

solo un 2% se conoce como Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER). En este sentido, apenas existen unos 357 MW instalados, cifra muy por debajo de la tendencia, incluso de otros paises en América Latina (Departamento Nacional de Planeación - DNP, 2018).

Por consiguiente, la endogamia eléctrica de Colombia, al depender casi exclusivamente del potencial hidroeléctrico, puede ser una orientación energética débil ya que depende, en gran medida, de las variaciones climáticas como el conocido fenómeno de El Niño (López et al., 2020).

Una de las alternativas son los modelos fotovoltaicos; sin embargo, dentro de sus principales limitantes están las Barreras de Entrada explicadas a través de las Inversiones de Capital CAPEX, por sus siglas en inglés, que este tipo de implementaciones implican.

Se considera que otro de los mayores problemas que desincentivan este tipo de desarrollos en energía fotovoltaica o solar son los relacionados a los trámites burocráticos impuestos a este tipo de proyectos, entre los que se cuentan, como mínimo, 12: (AGRONEGOCIOS, 2019).

- Permiso de la UPME.
- Formulario de constancia de finalización de estudios de reconocimiento y prefactibilidad.
- Inscripción en el registro de proyectos de generación eléctrica de la UPME.
- Solicitud del certificado para obtener la exclusión de IVA.
- Descripción del Proyecto.
- Planes de la obra.
- Descripción de los equipos requeridos en el proceso de instalación.
- Certificado ambiental expedido por la autoridad reguladora del Ministerio de Ambiente, lo cual, a su vez, implica trámites extra ante las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR).
- Solicitud de cambio de funcionamiento del sistema tradicional.
- Cálculos de las proyecciones de energías generadas por el sistema a implementar, tanto el que se entrega a la red, como el de consumo interno.
- Certificado Retie expedido por el Ministerio de Minas y Energía, lo cual tampoco es directo, sino que se realiza a través de intermediarios.
- Cambio de medidor convencional a uno bidireccional.

Por tanto, considerando que la implementación de este tipo de proyectos resulta de vital importancia para el desarrollo económico y la sustentabilidad en el largo plazo de Colombia, el presente documento busca analizar la forma de optimizar los costos de la implementación de los proyectos fotovoltaicos en pequeña escala; es decir, en los casos en los que estos correspondan a instalaciones inferiores a 1 MW.

Por consiguiente, la pregunta central que se busca responder con el presente documento es:

¿Cuál es la viabilidad de la implementación de un modelo de arrendamiento de sistemas fotovoltaicos en la ciudad de Montería, a pequeña escala, aplicada a determinados subsegmentos de infraestructura en Colombia?

4. Objetivos

Objetivo general

Analizar la viabilidad técnico-económica de un modelo de negocio en la ciudad de Montería de acuerdo con indicadores de rentabilidad, por medio de un esquema de arrendamiento de sistemas fotovoltaicos y de venta de excedentes de energía.

Objetivos específicos:

Adaptar el modelo de TPO (Third Party Ownership) de arrendamiento de sistemas fotovoltaicos, para el segmento de infraestructura en la ciudad de Montería, determinando los subsegmentos aplicables partiendo de las características y los requerimientos técnicos.

Evaluar financieramente el modelo de negocio, aplicándolo a los subsegmentos de la infraestructura.

5. Metodología

El desarrollo del presente trabajo tendrá una orientación eminentemente deductiva, en la que se irá desde lo general a lo particular. Es por ello que se inició con el establecimiento de todo el marco conceptual y teórico, para luego especificar estos elementos de forma más específica en sus implicaciones operativas y financieras.

Para lograr este objetivo, se utilizó como instrumento principal la consulta de fuentes académicas que se han realizado sobre el tema, a fin de extrapolar tales aseveraciones a un contexto de posible desarrollo en Colombia, específicamente en la ciudad de Montería, ubicada en la costa atlántica.

De este modo, se utilizaron fuentes esencialmente secundarias, a través de los análisis, investigaciones y casos de estudio tomados en consideración; por lo que, no utilizamos instrumentos que permitieran recolectar fuentes primarias como encuestas o entrevistas al particular.

Así, mediante las fuentes secundarias consultadas, se extrajeron datos tanto cualitativos como cuantitativos. Respecto a los primeros, por ejemplo, se analizaron los factores cualitativos que pudiesen ser limitantes en el desarrollo de proyectos energéticos fotovoltaicos, como es el objeto de este estudio. Los datos cuantitativos estuvieron dados por la categorización financiera de este tipo de desarrollos, como un sustento para mostrar el grado de apalancamiento que estos requieren.

5.1. Objetivo 1

- *Realizar un análisis documental del modelo TPO y casos de estudio implementados en otros países:* inicialmente se buscaron estudios existentes y se seleccionaron teniendo en cuenta las similitudes existentes entre el caso de estudio y los realizados en diferentes países a nivel mundial, (Burger & Luke, 2017). Posteriormente se documentaron las razones por las que dichos estudios fueron seleccionados y se detalló la estructura utilizada en cada uno de ellos.
- *Usar la metodología PESTEL (político, económico, sociocultural, tecnológico, ecológico y legal) (Guillaume Steffens, 2017) para evaluar la adaptación del modelo TPO al mercado colombiano, específicamente, en la ciudad de Montería:* se desarrolló una matriz basada en la metodología PESTEL que permitió, mediante el uso de diferentes criterios y puntajes, crear una escala de valores que facilitó la adecuación del modelo TPO al mercado colombiano, específicamente en la ciudad de Montería, como escenario principal del caso de estudio.

- *Evaluar el segmento de la infraestructura por medio de la metodología Boston Consulting Group (BSG), con el fin de determinar los subsegmentos de interés:* hacer una selección inicial de los principales segmentos de mercado en Montería, mediante la aplicación de la metodología BSG, que consiste, en ubicar los diferentes segmentos en los cuadrantes, teniendo en cuenta la participación en el mercado y el crecimiento del mercado. Lo anterior permitió, hacer un filtro para seleccionar tres subsegmentos de interés, sobre los cuales seleccionamos una empresa para hacer la evaluación del modelo (Carl W. Stern Michael S. Deimler, 2012).
- *Llevar a cabo un análisis documental de las políticas locales de Feed in Tariff (venta de excedentes de energía) y de beneficios tributarios otorgados por el Gobierno:* se hizo un listado de las normas que promueven la implementación de energías renovables, específicamente energía FV, para hacer un resumen que contiene los requisitos que dichas normas establecen para hacerse acreedor a beneficios tributarios y subsidios, dichos requisitos forman parte de un listado de chequeo que facilitará la posterior revisión del cumplimiento de este.
- *Implementar la metodología Canvas, para crear la estructura del negocio y la propuesta de valor fusionando el modelo TPO con la venta de excedentes de energía y los beneficios tributarios:* partiendo del modelo de negocio fusionado, se plasmó la propuesta de valor y las necesidades que dicho modelo cubrió. La utilización del modelo Canvas, permitió identificar y describir el segmento de mercado objetivo de la manera más detallada posible y así mismo, otras variables de alta importancia involucradas en la metodología, como establecer los canales de distribución; describir cómo será la relación con los clientes; detallar el modelo de ingresos con énfasis en cuál es el valor sobre el que pagarán los clientes y los medios de pago; enumerar los recursos necesarios en términos financieros, tecnológicos, humanos y de infraestructura, entre otros describir la o las actividades clave; identificar los proveedores primarios y, finalmente, plantear la estructura de costos incluyendo los beneficios tributarios (Osterwalder et al., 2010).

5.2. Objetivo 2

- *Revisión de literatura de metodología para modelos de evaluación de viabilidad de modelos de negocio para sistemas de generación FV a pequeña escala:* A partir del entendimiento de los siguientes cuatro modelos de evaluación de proyectos de inversión, valor presente, tasa interna de retorno, método de periodo de recuperación e índice de rentabilidad, se seleccionará el método más afín al modelo de generación de energía fotovoltaica a pequeña escala, basados también, en casos de estudios ya realizados a nivel internacional (Maheshwari & Jain, 2017; Zhang et al., 2016).

- *Sistema FV:* con base en los históricos del comportamiento de la demanda de los usuarios de la ciudad de Montería, se modelarán dos escenarios de demanda, autoconsumo y venta de excedentes, con el fin de simular el sistema FV adecuado (determinar la potencia nominal del sistema) y de esta manera establecer el porcentaje de energía que será utilizada para consumo propio e inyectada a la red para un usuario de cada segmento.

- *Modelado de la demanda:* por medio de simulaciones de Montecarlo se modelará la demanda energética anual para un grupo de usuarios de interés dentro de cada segmento, con el fin de determinar el CAPEX asociado.

- *Realizar la evaluación financiera de los escenarios propuestos:* se elaborará la estructura financiera para los grupos de usuarios establecidos en el Modelado de la Demanda, con el fin de determinar los escenarios económicamente viables.

El alcance de este proyecto se limita al desarrollo de simulaciones de los sistemas FV, la simulación del comportamiento de la demanda de los usuarios de cada segmento basándose en los históricos de la ciudad de Montería, y finalmente la evaluación financiera por separado de cada segmento de usuarios. El trabajo no contempla análisis de riesgos en cuando a volatilidad del recurso solar, la eficiencia en la generación de los sistemas FV, ni condiciones macroeconómicas del mercado.

6. Marco conceptual

Estado del arte

A continuación, se presenta un recorrido investigativo sobre las tendencias y desarrollos de los últimos cinco años en cuanto a la adopción de los sistemas FV. Se inicia por las barreras de la implementación de sistemas FV, seguido por los modelos de negocio existentes en el mercado, luego se pasa a los diferentes modelos de financiación, y se cierra con los proyectos exitosos de energía solar en Colombia.

Barreras de la implementación de sistemas FV

Durante la investigación de los diferentes modelos de negocio hacia los cuales se ha estado inclinando el mercado en los últimos años para la implementación de los sistemas FV, se observa una fuerte tendencia hacia el análisis que conlleva la adopción de sistemas distribuidos y la generación a partir de diferentes fuentes de energía, principalmente enfocándose en los temas financieros, regulatorios y de concientización.

Las barreras de adopción de la integración de sistemas FV se resume en cuatro aspectos principales: financiación y rentabilidad; conocimiento y comportamiento; regulatorias; y tecnológicas (Horváth & Szabó, 2018).

- *Barreras financieras y de rentabilidad:*

Estas barreras están descritas particularmente por los largos periodos de recuperación de la inversión, debido al alto costo de capital que conlleva la instalación y puesta en marcha de un sistema FV, acompañado también de la limitada oferta de servicios de financiación para la integración de sistemas distribuidos (Horváth & Szabó, 2018).

En el caso de los sistemas BIPV, esta barrera, se ve afectada por los costos de los materiales que reemplazan los techos y fachadas convencionales, ya que incrementan de forma considerable los costos de inversión inicial (Curtius, 2018).

- *Barreras de información y comportamiento:*

Estas se ven determinadas por factores como la baja tendencia a asumir riesgos financieros por parte del mercado, especialmente en el segmento residencial; la poca difusión de los beneficios otorgados por los entes gubernamentales; y los bajos esfuerzos en la concientización ecológica y sobre los beneficios de la adopción de fuentes renovables, impartidas desde la educación (Horváth & Szabó, 2018).

Cabe resaltar que el conocimiento de los beneficios del uso de fuentes renovables no debe recaer únicamente en el usuario final, Curtius (2018) habla del involucramiento temprano en la etapa de diseño de las edificaciones, ya que se ha detectado que en su gran mayoría los arquitectos no cuentan con el *know-how* administrativo para realizar el análisis financiero de la inclusión de los sistemas FV. Curtius (2018) también resalta la importancia de cómo realizar el análisis del ciclo de vida de los costos del proyecto FV, como un factor determinante para mitigar esta barrera.

- *Barreras regulatorias:*

Una alternativa que ha sido estudiada e implementada en sistemas interconectados a la red es contar con la venta de excedentes de energía *feed-in tariff* al operador de red, que permite reducir los tiempos de retorno a la inversión. Esta alternativa se ve limitada por la regulación del precio del kWh impuesto por los entes gubernamentales, que en algún caso es tan bajo que no es atractivo para los inversionistas, o por la inexistencia de este modelo en algunos países (Curtius, 2018; Horváth & Szabó, 2018; Shukla et al., 2018).

Actualmente, existe una gran dependencia al uso de beneficios otorgados por los gobiernos para la adopción de los sistemas FV, debido a los altos costos de capital. Sin embargo, las políticas de dichos beneficios no ofrecen continuidad ni seguridad a las inversiones y a los usuarios, debido a que son cambiantes en el corto plazo y a que estas estrategias cuentan con una prioridad muy baja dentro de los planes energéticos de algunos países en vía de desarrollo (Curtius, 2018; Shukla et al., 2018).

- *Barreras tecnológicas:*

Las barreras tecnológicas están ligadas tanto a factores del propio sistema de generación de energía eléctrica a través de fuentes FV, como a factores externos de interconexión y capacidad de la red. La confiabilidad del sistema, la estabilidad del suministro de energía y la eficiencia energética son factores

limitantes (Horváth & Szabó, 2018), ya que pueden llegar a generar desconfianza en la adopción del sistema y el incremento de costos de capital de inversión, debido a que el aseguramiento de dichos factores requiere de sistemas de generación más robustos.

Por otro lado, los sistemas FV interconectados a la red, que buscan ofrecer un suministro continuo de energía alternando entre el sistema FV y la energía ofrecida por el operador de red, se ven afectados a la hora de modelar sistemas con venta de excedentes de energía *feed-in tariff*, debido a que dicha interconexión depende en su totalidad del estado de ocupación de la red del proveedor de energía (Curtius, 2018). En cuanto al desarrollo tecnológico, en algunos países, como es el caso de la India, la falta de estándares técnicos para el uso de la tecnología FV acompañada de la baja inversión en investigación y desarrollo en desarrollos locales adecuados a los requerimientos de cada país, limita la confianza y el entendimiento de los sistemas (Shukla et al., 2018).

- *Barrera de servicios complementarios:*

La adopción de nuevos sistemas FV trae consigo nuevos modelos de negocio asociados, que no están directamente relacionados con la generación o venta de energía. Shukla (2018) en su estudio de las barreras de adopción de los sistemas BIPV en la India, encontró limitantes como programas de capacitación y entrenamiento de diseñadores, ingenieros y constructores; pocos proveedores de tecnologías FV especialmente en lo que respecta al BIPV, lo que tiene una relación directa con la barrera financiera; muy pocas compañías consultoras que cuenten con el conocimiento referente a sistemas FV y BIPV; y finalmente, la escasez de entidades financieras dedicadas a los sistemas renovables.

Modelos de negocio

Actualmente, existen numerosos estudios referentes a las diversas técnicas para el diseño e implementación de sistemas FV, lo cual ha llevado esta tecnología a cierto nivel de madurez, principalmente en países como Estados Unidos y en algunos países de Europa, abriendo así paso a un auge en la investigación de modelos de negocio que permitan garantizar la masificación de dichas tecnologías. Burger y Luke (2017) realizaron una investigación en 144 compañías que ofrecen suministro de electricidad al mercado, a partir de diferentes fuentes de generación, con el fin de entender y estructurar por medio de arquetipos los modelos de negocio que cada una de estas compañías utiliza para llegar al mercado, e identificar cuáles son las principales barreras a las que se ve enfrentado cada modelo.

A lo largo de la historia del desarrollo de los sistemas FV en Estados Unidos, Burger y Luke (2017) identificaron al costo del capital de inversión inicial como la principal barrera para la adopción de esta tecnología limpia. Esto ha generado en el mercado, numerosos modelos de financiación que pueden clasificarse en dos: el primer modelo corresponde a propiedad directa del sistema (*Direct Ownership DO*), ya sea a través de la compra directa o el endeudamiento por parte del usuario del sistema; el segundo modelo corresponde a la titularidad por parte de un tercero (*Third Party Ownership TPO*), en donde un tercero es quien realiza la inversión del capital inicial y arrienda el sistema FV al usuario final.

Ahlgren Ode y Lagerstedt Wadin (2019) exponen el modelo TPO por medio de tres jugadores: un inversionista, quien es el que aporta el CAPEX para la implementación del sistema; la compañía, que se encarga de la búsqueda de clientes, diseño, instalación, puesta en marcha y operación del sistema (dicha compañía también puede ser el mismo inversor); y el cliente final, ya sean de carácter público o privado, con quien se establecen contratos de arrendamiento del sistema por períodos que rondan entre los 10 y 20 años. Dicho modelo ha tomado fuerza desde el año 2014 en los Estados Unidos en donde entre el 60% y 90% de los sistemas fotovoltaicos residenciales utilizaban un modelo de arrendador (Burger & Luke, 2017).

El éxito del modelo TPO y la expansión de este en países europeos ha llevado al desarrollo de diferentes investigaciones y ajustes a los mercados locales. Como ejemplo Ahlgren Ode y Lagerstedt Wadin (2019) estudiaron la adaptación del exitoso modelo TPO de California, en países europeos, a través del caso de estudio de una compañía que ya cuenta con un modelo maduro y que debe readaptar su modelo de creación de valor, propuesta de valor, interacción con el cliente y su modelo de fuentes de ingreso, con el fin de abrirse paso y ser aceptado en el mercado europeo.

El capital de inversión, como se mencionó previamente, es una de las principales barreras, inclusive dentro del modelo TPO, ya que los retornos de inversión pueden llegar a darse entre 10 y 20 años. Nuevas estrategias soportadas por los marcos regulatorios de algunos países, con el objetivo de promover y masificar el uso de fuentes renovables de energía, han sido creadas, como lo es la venta de excedentes de energía a los operadores de red. Dicha estrategia, conocida también por sus definiciones en inglés *feed-in tariff*, ha generado una mayor acogida hacia los modelos DO y TPO, ya que la venta de los excedentes de energía del sistema FV por parte del usuario o de un tercero, permite minimizar el tiempo de retorno a la inversión (Burger & Luke, 2017).

Según Burger y Luke (2017) el modelo de negocio de los sistemas FV, ya sea DO o TPO, siempre contará con unos componentes básicos que son: la identificación y localización de clientes; la instalación del sistema y el suministro de energía eléctrica que genere fuentes de ingreso suficientes para cubrir los costos de capital. Por otra parte, el negocio FV trae consigo nuevos modelos de negocio, conocidos como servicios no eléctricos que son necesarios para garantizar el éxito del modelo principal, los cuales son: la detección de oportunidades de venta, la financiación y el servicio de mantenimiento de los sistemas FV.

Cuando se evalúa la segmentación de mercado y la viabilidad de los modelos de negocio de sistemas FV de pequeña escala (menores a 1MW), sobre todo en la infraestructura, se encuentran nuevas tendencias que buscan generar un mayor aprovechamiento del recurso solar dentro del casco urbano. Gholami (2019) expone el modelo *Building Integrated Photovoltaics (BIPV)*, este busca maximizar la generación de energía eléctrica por medio de la integración del sistema FV en techos (80%) y fachadas (20%), y sistemas conectados a la red sin el uso de almacenamiento de energía por medio de baterías. El estudio realizado por (Gholami et al., 2019) demostró que los sistemas BIPV cuentan con un ciclo de vida útil estándar de 30 años y que, inclusive, puede ser extendido hasta un periodo de 50 años, siempre y cuando se asegure el buen servicio de mantenimiento y actualización del sistema en el tiempo.

Adicionalmente, se establecen cuatro barreras principales que se deben tener en cuenta para la formación del modelo de negocio:

1. La aceptación pública, no solo por el bajo nivel de penetración de los sistemas FV en algunos mercados, sino también, por la estética del aspecto de las fachadas.
2. Las barreras institucionales, que se refieren a las políticas locales y las restricciones impuestas por los operadores de red para el desarrollo de sistemas interconectados a la red (*on-grid*), sistemas híbridos que funcionan con energía FV mientras haya luz solar y energía tradicional en las horas de oscuridad ya que no hay almacenamiento de energía solar.
3. El factor económico se establece como la barrera más determinante debido a la alta inversión de capital para el desarrollo de este tipo de proyectos.
4. La barrera técnica, principalmente afectada por la eficiencia energética que proveen los sistemas FV BIPV.

Gholami (2019) presenta un modelo para el análisis de viabilidad por medio del método de análisis del ciclo de vida de los costos del proyecto (LCCA), el cual toma como variables de definición el valor presente neto y el periodo de recuperación con descuento. Adicionalmente, por medio del análisis de cuatro casos de estudio en diferentes locaciones del mundo: Milán, seis ciudades de Brasil, Shanghai y Awali; se establecen los parámetros determinantes en los cuales se debe basar el estudio del modelo de negocio:

- Costos de materiales de fachada y techos.
- Costos del sistema FV.
- Tarifa de electricidad.
- Ciclo de vida de vida del sistema BIPV.
- Capacidad de generación durante el ciclo de vida del sistema.
- Radiación solar en la ubicación geográfica.
- Costos de operación y mantenimiento, establecidos en 1% anual del costo total del sistema BIPV.
- Tasa de degradación de los paneles FV: establecida en 0,5% anual.
- Costos de reemplazo, establecidos en 17% del costo total del sistema BIPV.
- Vida útil de los inversores, establecidos en 10 años.
- Tarifas de operación local.

Modelos de financiación

El capital inicial se posiciona como la barrera principal y de mayor complejidad para la adopción de los sistemas FV en sistemas de pequeña escala (Horváth & Szabó, 2018). Es un hecho que la masificación de los sistemas FV incrementará los índices de accesibilidad debido a la extensión del *know-how*, la producción en masa de componentes y el impulso a través de políticas locales. Para ello se han desarrollado diferentes modelos de financiación para impulsar a los *Early Adopters* en el proceso de adopción tecnológica; dichos modelos se han estandarizado y permiten ser adaptados a las regulaciones y condiciones locales de cada país. Yujie Lu (2018) desarrolla una revisión de dichos modelos determinando los principales beneficios y las desventajas para el caso de la India.

Existen cinco modelos de financiamiento que actualmente son tendencia a nivel mundial (Lu et al., 2018):

1. Modelo asociado a las municipalidades o gobiernos locales, quienes subsidian, a través de fondos, el desarrollo de proyectos FV. Normalmente, se trabaja a través de integradores que venden la energía a los gobiernos por medio de contratos de compra de energía. Este modelo trae como ventajas para el usuario final la eliminación de los costos de capital inicial, operación y mantenimiento. Sin embargo, el inversionista cuenta con dos desventajas principales: recursos limitados debido a la dependencia de fondos públicos, y largos periodos de retorno de la inversión (Lu et al., 2018).
2. Modelos TPO y de *leasing*, donde el integrador se encarga de soportar los costos de capital inicial y de la instalación del sistema FV. Este modelo reduce los costos de capital y mantenimiento para el usuario final, sin embargo, este debe establecer un contrato con el integrador por el arrendamiento del sistema FV, normalmente, con una duración de entre 10 y 20 años (Lu et al., 2018).
3. Modelo patrocinado por compañías prestadores de servicios públicos, en el que el sistema FV es instalado y operado por el prestador del servicio de energía eléctrica. En este modelo el usuario final paga el costo del kWh generado por el sistema FV en la factura del servicio público (Lu et al., 2018).
4. Modelo de compra por volumen de energía eléctrica, se basa en la instalación de un sistema FV en una comunidad que paga por el total de kWh consumidos. Este modelo incentiva las economías de escala (Lu et al., 2018).
5. Modelo de financiación colectiva de los sistemas FV, óptimo para pequeños sistemas de generación, en donde diferentes inversionistas aportan capital de forma independiente a una bolsa para el desarrollo y venta de energía a través de sistemas FV (Lu et al., 2018).

Adopción de los sistemas FV en Colombia

En el panorama colombiano existen normas que buscan impulsar el aprovechamiento de la radiación solar en proyectos de urbanización municipal o distrital, en edificaciones públicas, y en los sectores industrial, residencial y comercial. Así se evidencia en la ley 1715 de 2014 en su artículo 19 numeral 2, y en del Decreto 1623 de 2015, que establece los lineamientos de la política para la expansión de la cobertura del servicio de energía eléctrica en el SIN (Sistema Interconectado Nacional) y en las ZNI (Zona No Interconectada), y en el capítulo III relaciona la expansión de la cobertura en ZNI y en zonas aisladas.

La ley 1753 del 2015 incorpora estrategias regionales para promover la gestión territorial y promover su desarrollo. En su artículo 141 habilita a las entidades descentralizadas para asignar recursos que financien la realización de estudios de identificación, pre-inversión y estructuración de proyectos.

El decreto 173 del 2016, en su artículo 2.2.6.3.1.1, define las actividades necesarias para la formulación del proyecto: i) Identificar una necesidad y el planteamiento de las posibles alternativas de solución; ii) Estructurar integralmente las actividades y estudios de orden técnico, financiero, ambiental, social y legal que se debe realizar en la etapa de pre-inversión; iii) Definir el esquema más eficiente de ejecución; y finalmente el CONPES No. 3856 del 2016 (documento emitido por el Consejo Nacional de Política Económica y Social) “ESTRATEGIA DE ESTANDARIZACIÓN DE PROYECTOS 2016-2018”, a través del cual el Gobierno Nacional busca una estrategia para que las entidades territoriales que requieran atender una problemática específica formulen, estructuren y realicen un proyecto de forma ágil y eficiente.

La UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), dentro del plan de expansión 2017-2031, se ha encargado de realizar el estudio, en todos los departamentos del país, de los costos de implementación de proyectos FV inferiores a 1MW que se han llevado a cabo en los últimos años, con el fin de establecer un costo promedio de kW instalado para cada región. El CAPEX promedio varía entre 1,200 y 2,925 US\$/kW para sistemas que no cuentan con almacenamiento de energía; la adición de baterías genera un incremento de entre el 20% al 40% el CAPEX (UPME, 2018).

La ubicación geográfica es un factor determinante a la hora de evaluar la viabilidad de la implementación de los proyectos solares. La ciudad de Montería, caso de estudio de este proyecto, ubicada en el departamento de Córdoba, cuenta con índices de radiación solar de entre 4-4,5kWh/m² y

con un promedio de brillo solar diario de entre 5 a 6 horas (Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia). Estas variables permiten ubicar al departamento de Córdoba en un promedio de 1.550 US\$/kW, mientras en otras regiones del país como Cundinamarca se alcanza un promedio de 2.081 US\$/kW.

Castaño y García (2020) realizan un análisis de la difusión de los sistemas FV en Colombia, con la aplicación de un modelo tecno-económico, considerando los beneficios otorgados por el Gobierno. El estudio de la difusión tecnológica lo realizan por medio del modelo de Bass, que permite generar pronósticos referentes a la adopción y demanda de las nuevas tecnologías. Dicho modelo es óptimo para la realización de análisis de viabilidad de nuevas tecnologías en las que se cuenta con poca información de entrada.

El modelo demanda la determinación de dos parámetros de entrada: el de “coeficientes de imitación, que se refieren a la probabilidad de que un imitador adopte un nuevo producto, y el coeficiente de innovación, asociado a la probabilidad de que un innovador adquiera un producto o servicio” (Castaño-Gómez & García-Rendón, 2020). Para ello, Castaño y García (2020) parten de los incentivos tributarios establecidos en la ley 1715 y su aplicabilidad para el sector residencial, comercial y de generación a gran escala.

Se plantean tres escenarios diferentes a lo largo del estudio de Castaño y García (2020) tomados del plan de expansión de la UPME: residencial, granja solar y proyecto a gran escala (capacidad instalada mayor a 5MW). Con el objetivo de determinar cómo los incentivos tributarios estipulados en la Ley 1715 de 2014, junto con la venta de excedentes de energía renovable de la CREG038 de 2018, impactan la viabilidad de los proyectos FV a través de la determinación de una tasa de crecimiento o tasa de adopción de dicha tecnología.

Para cada escenario se realiza el análisis de la estructura financiera, que parte de la potencia instalada del sistema, la tarifa de venta de excedentes y la determinación de los costos ponderados promedio de capital (WACC), la tasa interna de retorno (TIR) y el tiempo de recuperación de la inversión. Como resultado del análisis Castaño y García (2020) llegan a la conclusión de que la tasa de adopción proyectada para los escenarios planteados presenta mayor crecimiento para los escenarios de proyectos

comerciales y de gran escala, los cuales cuentan con WACC de 9,02% (suponiendo 20% de deuda), TIR de 30,47% y tiempo de recuperación de la inversión en 4 años.

Radomes y Arango (2015) utilizan la dinámica de sistemas para estudiar la adopción de los sistemas FV, en la ciudad de Medellín, Colombia, por medio del modelo de difusión de Bass. Tomando como parámetros de partida los subsidios o incentivos tributarios otorgados por el Gobierno y la venta de excedentes. El diagrama causal describe el comportamiento de la difusión tecnológica de los sistemas FV en el país.

Radomes & Arango (2015), determinan que el factor central de la difusión de las energías renovables es la estrategia de promoción, la cual es función de la cantidad de potenciales usuarios en el tiempo. También, hablan del impacto de la curva de aprendizaje y su relación proporcional con los precios de la implementación de sistemas FV en Colombia, entre más bajen los precios de los sistemas FV, menor será el tiempo de retorno de la inversión.

Proyectos exitosos de energía solar en Colombia

A manera de ejemplo de proyectos que ya están funcionando en Colombia y que han sido declarados exitosos, Sarmiento (2020) presenta la siguiente selección.

- Primer plantel educativo colombiano en funcionar con energía solar: en la Institución Educativa Martinica, ubicada en la zona rural de Montería, departamento de Córdoba, se instalaron 16 paneles solares que garantizan luz durante 24 horas. Con esto, 400 kilogramos de CO₂ aproximadamente dejaron de emitirse.
- Universidad Autónoma de Occidente: la Universidad Autónoma de Occidente en Cali, departamento del Valle del Cauca, hace 3 años instaló un sistema de energía solar para apoyar el suministro de energía en la universidad. Además, este sería un centro de investigación para el uso de la energía solar FV en Colombia. Actualmente, la universidad cuenta con 638 paneles solares.
- Mujeres Wayuu de analfabetas a ingenieras de paneles solares: uno de los mejores emprendimientos verdes que iniciaron 5 mujeres analfabetas Wayuu en 2013, empezó cuando viajaron a la India, invitadas por la Embajada de ese país, para tomar una capacitación en paneles solares, donde aprendieron a instalarlos y mantenerlos. Esta iniciativa tenía como meta mejorar la calidad de vida de sus comunidades.

- Institución Pública Ramón B. Jimeno migró completamente a energía solar: Bogotá mostró avances importantes en la implementación de energía solar, cuando en mayo de 2015 se inauguró el Colegio Ramón B. Jimeno, de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB –. Esta institución instaló 148 paneles solares que abastecen el 100% de su iluminación. Además, la EAAB aprovechó la ley 1715 de 2014.
- Fundación Centro Experimental las Gaviotas: fundación sin ánimo de lucro que recibió el Premio Mundial del Medio Ambiente por sus propuestas de exploración y desarrollo de tecnologías innovadoras. Esta fundación apoyó las primeras instalaciones de calentadores solares, un proyecto integral sostenible.

Autogeneración y venta de excedentes

La Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG establece los lineamientos para la remuneración de la energía excedente o inyectada a la red proveniente de fuentes renovables. Esto lo realiza por medio de la resolución CREG 030 del 2018, y actualiza luego por medio de la resolución CREG 174 de 2021. Dichas resoluciones clasifican a los usuarios en dos tipos de generadores (RESOLUCIÓN 030 DE 2018, 2018; RESOLUCIÓN No. 174 DE 2021, 2021):

- Generador distribuido: este tipo de usuario tiene como objetivo inyectar la totalidad de la energía generada a una red, sin consumir energía de la red. Por lo general este tipo de usuarios, se ubican en las cercanías al nodo o punto de consumo al cual se encuentra conectado el usuario final de la energía (SOLSTA, n.d., 2021).
- Autogenerador a pequeña escala: se caracterizan por estar conectados a la red y contar con sistemas de generación de energías provenientes de fuentes renovables, con el fin último de suplir el total de su demanda. Este tipo de usuario asegura una disponibilidad de energía del 100% ya que cuenta con dos fuentes que le permiten alternar o combinar el suministro de energía de acuerdo con las condiciones de radiación solar (Ejemplo, un usuario con sistema FV sin baterías tomará la energía de la red durante las horas de cero radiación solar)(SOLSTA, n.d., 2021).

Según las resoluciones (CREG 030 y 174) el método de remuneración para autogeneradores a pequeña escala con capacidad instalada menor a 0.1 MW (objeto de este trabajo) se puede presentar de dos formas:

- Si la suma de la energía inyectada a la red por parte del usuario es menor a la energía tomada de la red, durante el periodo de facturación establecido por el operador, el autogenerador solo deberá pagar los costos asociados a la comercialización de energía por cada KWh inyectado (SOLSTA, n.d., 2021).
- En el caso contrario, en el cual la energía inyectada supera la energía tomada de la red se aplican dos cálculos: el primero corresponde al total de la energía inyectada que es igual a la tomada de la red, el usuario pagará únicamente los costos asociados de comercialización; el segundo, corresponde a la energía excedente, es decir la diferencia entre la energía inyectada y la tomada de la red, el usuario además de cubrir los costos de comercialización será remunerado con el importe total de la energía facturada al precio de bolsa del periodo correspondiente (SOLSTA, n.d., 2021).

7. Análisis externo

Para las consideraciones de Análisis Externo del modelo de negocio planteado, se utilizaron las consideraciones del Modelo PESTEL.

Aspectos políticos

Colombia suscribió el acuerdo para el cambio climático de París en 2015, que traslada la producción de energías a las denominadas renovables, y de esta forma irse desmarcando de la generación a partir de los combustibles fósiles. Dicho acuerdo pone una agenda, impulsada por el Gobierno Nacional, que favorece acciones que llevan al país a desarrollar proyectos de implementación de energía solar.

El Congreso de la República, aprobó la ley 1715 en 2014, lo que ha generado un entorno favorable para el fortalecimiento de proyectos basados en energía solar, por los beneficios económicos que esta promueve.

El Gobierno Nacional creó la Unidad de Planeación Minero-Energética -UPME-, adscrita al Ministerio de Minas y Energía, cuya misión es planear el desarrollo minero-energético, apoyar la formulación e implementación de la política pública y generar conocimiento e información para un futuro sostenible, que proyecta para 2030 liderar la transformación minero-energética con innovación, responsabilidad y conocimiento.

En los últimos años el país ha trabajado en diversas reformas para atacar elementos relacionados con la corrupción, asuntos fiscales y justicia. Por su parte, aunque se espera un endurecimiento de los acuerdos con los exguerrilleros de las Farc, se estima poco probable que el Acuerdo de Paz, firmado en 2016 por el expresidente Juan Manuel Santos, sea revertido. Adicionalmente, Colombia presenta una concentración en la integración comercial y económica de la Alianza del Pacífico con Perú, Chile y México; además de los Acuerdos de Libre Comercio con Canadá, Estados Unidos, Corea del Sur y la Unión Europea. Existe también que tener en cuenta que en la última década el país ha acogido un número significativo de refugiados políticos y humanitarios procedentes de Venezuela, lo que ha provocado el colapso de diversos servicios, principalmente en las zonas de frontera.

Aspectos económicos

En lo que se refiere a las consideraciones macroeconómicas para Colombia, se puede listar lo siguiente:

- El PIB de Colombia, de acuerdo con el DANE, creció un 13.2% en el tercer trimestre de 2021 comparado con el mismo periodo en 2020 (Valora Analitik, 2022). Hay que tener en cuenta que estos periodos fueron afectados por la pandemia del Covid-19.
- Como media, el crecimiento de Colombia se mantiene sobre el 3.7% interanual. Aquí es clave resaltar que se debe esperar a la recuperación económica, después de la pandemia, para saber cómo se mantiene este crecimiento.
- A consecuencia de la emergencia sanitaria decretada por el expresidente Iván Duque como consecuencia del Covid-19 en marzo de 2020, el PIB de Colombia se contrajo un 6.8% en 2020.
- La alta dependencia del país en el precio del petróleo causa desajustes en el Presupuesto Nacional.
- La inestabilidad del peso colombiano afecta la adquisición de productos importados, ya que según los resultados del índice *Big Mac* de *The Economist*, para julio de 2022 presentó una devaluación del 32,4% en comparación con el dólar. Se sitúa así la moneda colombiana en la séptima más devaluada a nivel mundial, y la tercera en América Latina.

Por otra parte, en lo referente al Objeto de estudio, desde hace varios años viene creciendo la preocupación por la cantidad de las reservas de petróleo que aún quedan en Colombia. Esto, sumado a la incertidumbre climática con fenómenos como el de El Niño, que pueden estresar los sistemas hidroeléctricos, enfatizan el hecho que el sistema eléctrico colombiano puede estar en riesgo, lo cual puede decantar en efectos macroeconómicos considerables (Minminas, 2020).

Por tanto, para motivar los desarrollos alternativos energéticos, la Norma ha permitido el modelamiento de proyectos de arrendamiento, beneficios tributarios y la venta de excedentes como elementos facilitadores de este tipo de sistemas (RESOLUCIÓN No. 183, 2019).

Por consiguiente, se considera que hay un ambiente favorable para la implementación de Proyectos de energía alternativa mediante el modelo TPO o de *Leasing*, debido a que reducen la inversión inicial para los clientes potenciales. Además, es bastante probable que estos proyectos puedan ser subsidiados por el Gobierno Nacional.

Aspectos socioculturales

Aunque como se ha mencionado previamente, la mayor barrera para la adopción de sistemas FV es la económica, también es digno de notar que se considera que existe cierto temor al cambio de los sistemas energéticos tradicionales usados en el país, basados en hidroeléctricas. Este elemento, se agudiza por el hecho de que existe escasa información sobre este tipo de proyectos, lo que provoca que los gobiernos lo difundan escasamente y exista muy poco personal capacitado en este tipo de sistemas.

En lo que se refiere a los modelos TPO, los aspectos socioculturales pueden ser un obstáculo, debido a que la cultura financiera del país no tiene por costumbre utilizar modelos de arrendamiento, y más aún cuando se refiere a servicios públicos. Todo esto puede retrasar este tipo de implementaciones, por lo que se requiere una tarea previa de culturización sobre los beneficios de los modelos de arrendamiento.

Aspectos tecnológicos

La tecnología que se usa, hasta la fecha, para la implementación de proyectos fotovoltaicos en Colombia es eminentemente extranjera, principalmente de Estados Unidos y Europa. De hecho, Colombia no se considera un país con un alto desarrollo de procesos de innovación, ni de generación de patentes; por lo que es catalogada, principalmente, como seguidor de tecnologías, en vez de un impulsor de estas.

Los avances tecnológicos han permitido la reducción de costos de la tecnología fotovoltaica, así como de los dispositivos semiconductores de energía obtenida a través de la radiación solar, denominados células fotovoltaicas, gracias a los beneficios de las economías de escala.

Aspectos ambientales

Algunos de los efectos positivos en materia ambiental de la implementación de proyectos de energía fotovoltaica son los siguientes:

- No se genera ningún tipo de combustión, lo que significa que no se provoca polución térmica alguna de dióxido de carbono que pueda aumentar la emisión de gases efecto invernadero.
- No provoca ningún tipo de contaminantes producto de vertidos, movimientos de tierra o alteraciones en el suelo.
- Tampoco produce alteración de las fuentes de agua potable, tanto accesible como subterránea.

- Se considera que la afectación sobre la fauna y flora es nula como consecuencia de la eliminación de los tendidos eléctricos.

Aspectos legales

Mediante la Ley 1844 de 2017, Colombia declaró su alineación con los principios emanados en el Acuerdo ambiental de París, según los cuales ha de comprometerse con la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero hasta en un 20% para el año 2030.

En atención a esta consigna, la Ley 1715 de 2014 impulsa el desarrollo de modelos de energía renovable vía beneficios tributarios que se aplican tanto a los costos de inversión, como al retorno de inversión en los proyectos fotovoltaicos. Entre otros, esta ley permite:

- Deducción de renta sobre rubros de Investigación y Desarrollo en proyectos de FNCE (Artículo 11). Esta deducción es permisible hasta en un 50% del monto total del proyecto y por un periodo no mayor a 5 años. Aunque el beneficio es loable, no se considera suficiente por cuanto difícilmente una empresa logra alcanzar punto de equilibrio antes de los 3 años y construir ventajas competitivas antes de los 5 años, lo cual resulta en que, de todos modos, no sea factible acceder a este beneficio.
-
- Depreciación acelerada de activos fijos hasta en un 20% anual, de todos los elementos dentro del CAPEX (Artículo 14).
- Exclusión de IVA aplicado a bienes, servicios, equipos y maquinaria, ya sea de origen nacional o de importación (Artículo 12). Este beneficio tributario, de por sí, ya optimiza en casi un quinto los costos de adopción del proyecto. No obstante, también se han impuesto obstáculos a este beneficio, pues además se requiere que se cuente con el aval de la UPME para que se califique el proyecto como de tipo FNCE.
- Extensión arancelaria para la importación de equipos y materiales utilizados para proyectos de energías renovables (Artículo 13).

De la misma forma, se han normado las condiciones de los modelos de venta de excedentes mediante la Resolución CREG 030 de 2018. Además, esta Resolución también aplica componentes referentes a los procesos de autogeneración y generación distribuida. De esta manera, se regula la forma en la cual un usuario puede conectarse al Operador de Red (OR), ya sea como auto generador o como

generador distribuido. Como se observa, esta norma permite que, para efectos de masificación, los mismos usuarios finales puedan producir su propia energía y, para motivar aún más su adopción, vender los excedentes de esta.

8. Matriz BCG

La planeación estratégica orientada hacia el mercado es el proceso administrativo de desarrollar y mantener una relación viable entre los objetivos y recursos de la organización, y las oportunidades cambiantes del mercado. El objetivo de la planeación estratégica es moldear y remodelar los negocios y productos de la empresa de manera que combinen para producir un desarrollo y utilidades satisfactorias (Kotler, 2001).

El desarrollo de este análisis de segmentación de mercado, mediante la utilización de la metodología de *Boston Consulting Group* (BCG), pretende en este caso, desarrollar una guía de viabilidad para un modelo de negocio que aún no ha sido desarrollado en la ciudad de Montería. Dicho modelo, pretende incrementar la aceptación e implementación del uso de energía mediante sistemas fotovoltaicos en la zona, para lo cual es fundamental identificar qué segmentos de mercado representan la mejor opción de aplicación.

En la mayoría de los escenarios el análisis BCG es utilizado para líneas de negocio y clientes ya establecidos. Sin embargo, para el desarrollo de este proyecto, se utilizó como una herramienta de reconocimiento que pretende identificar el mejor mercado potencial para este nuevo modelo de negocio.

De acuerdo con el Informe de coyuntura regional y la ruta de desarrollo sostenible del DANE, los sectores con mayor crecimiento en la ciudad de Montería son:

Sector de la construcción

En los últimos años Montería ha presentado una tendencia ascendente en el crecimiento de las áreas aprobadas para la construcción, en su mayoría de tipo residencial; seguido del segmento comercial, educación e industrial. Los crecimientos registrados desde el 2016, hasta 2022, sobrepasan en algunos meses el 100%, lo cual confirma la tendencia marcada del crecimiento de este segmento en la ciudad. Para el año 2018-2019 el total de área aprobada para construcción en Montería fue de 211,355 m², de las cuales 155,989 m² fueron aprobados para vivienda (DANE, 2021).

Sector comercio e industria

La ciudad de Montería presenta desafíos a nivel de desarrollo productivo que se deben delimitar y abordar con políticas, planes y programas concretos que apunten a la disminución de las brechas internas, aumentar los niveles de competitividad y, por ende, avanzar hacia un mejoramiento en el nivel de vida de sus habitantes.

De acuerdo con los resultados del Índice de Competitividad de las Ciudades -ICC- (Consejo privado de competitividad & Universidad del Rosario, 2020), Montería ocupó el puesto 17, entre 23 ciudades, con 4,33 puntos, dejando en evidencia la necesidad de tomar acciones decididas que permitan seguir avanzando en esta materia.

El ICC analiza cuatro factores de competitividad, los cuales se componen de 13 pilares. El primer factor corresponde a 'Condiciones básicas' y aborda los pilares: instituciones, infraestructura y equipamientos, adopción TIC y sostenibilidad ambiental. El segundo factor 'Capital humano' contiene los pilares: salud, educación básica y media, y educación superior y formación para el trabajo. El tercer factor es la 'Eficiencia de mercado' y tiene en cuenta los pilares: entorno para los negocios, mercado laboral, sistema financiero y tamaño del mercado. El último factor, 'Ecosistema innovador', abarca los pilares sofisticación y diversificación, e innovación.

Teniendo en cuenta factores como el débil valor agregado y la baja industrialización, sumado al aumento en la informalidad y el desempleo municipal, la alcaldía de Montería ha enfocado esfuerzos en fortalecer el emprendimiento, aumentar el acceso a créditos, generar nuevos empleos de calidad, disminuir la informalidad económica e impulsar el desarrollo productivo local a través de la potencialización de varios sectores económicos del municipio, como el comercio apuntando a mejorar la competitividad de la ciudad.

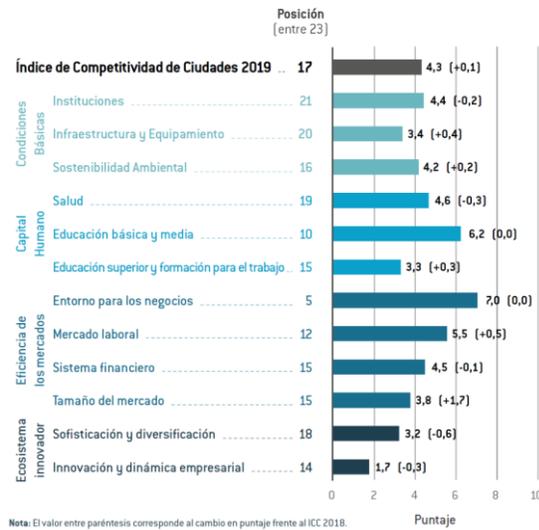


Figura 3. Resultados ICC 2019 desagregados por factores y pilares - Montería

Fuente: (Consejo Privado de Competitividad, 2019).

Sector educación

Montería hoy cuenta con un equipamiento educativo de 61 establecimientos educativos oficiales, de los cuales 31 están ubicados en zona urbana y 30 en zona rural, con un total de 255 sedes educativas, de las cuales 191 son sedes rurales y 64 son sedes urbanas. Por otra parte, Montería cuenta con 83 establecimientos educativos no oficiales (privados) y 34 Establecimientos para el Trabajo y Desarrollo Humano- ETDH (Alcaldía de Montería et al., 2020).

Para efectos de la realización de la primera etapa de este proyecto, el segmento industrial no será teniendo en cuenta debido a la complejidad de sus requerimientos energéticos, por las diferentes maquinarias que en este sector suelen manejarse; así como la amplia experiencia que, la mayoría de las compañías pertenecientes a este segmento, exigen al prestador del servicio.

En la segunda etapa del proyecto y luego de validar el funcionamiento del modelo en segmentos como el residencial, comercial y educativo, se considerarán otros segmentos que potencialmente incluyan mayor complejidad en términos de servicio y diseño.

Con el fin de dar respuesta a la necesidad de cómo destinar recursos a diferentes unidades de negocios o segmentos de mercado, el *Boston Consulting Group* planteó la matriz de Crecimiento-Participación que se divide en celdas donde:

Interrogantes

Son negocios que operan en mercados de alto crecimiento, pero cuya participación de mercado es baja. El término interrogante se eligió en virtud de que la empresa tiene que ponderar con detenimiento si continúa invirtiendo dinero en este negocio.

Estrellas

Son los líderes en mercados de gran crecimiento. Por lo regular, las estrellas son rentables si se convierten en las futuras vacas de efectivo de la compañía.

Vacas de efectivo

Generan gran cantidad de dinero para la empresa y no tienen que financiar mucha de su capacidad de expansión, porque el índice de crecimiento del mercado ha bajado. Como son los líderes disfrutan de economías de escala y márgenes de utilidad altos.

Perros: Generan pocas utilidades o pérdidas. Necesitan ser reestructurados o eliminados.



Figura 4. Secuencia óptima de flujos de caja (BCG)

La gráfica anterior recoge la secuencia óptima de los fondos generados por los negocios/productos vaca, para equilibrar la cartera de negocios/productos de una empresa, así como la secuencia óptima del movimiento de los negocios/productos: que los negocios interrogantes se conviertan en estrella gracias a la inversión recibida de los negocios vaca, y que los negocios estrella pasen a negocios vaca cuando se reduzca la tasa de crecimiento del mercado por la evolución natural de su ciclo de vida. Así, de esta gráfica se deduce lo siguiente:

Los negocios vaca, que generan recursos superiores a los que necesitan, ayudarán a fortalecer la posición de los negocios estrella, que son deficitarios de recursos, y a potenciar los negocios interrogantes para intentar convertirlos en estrella; para lo que se requerirán cuantiosos recursos, sobre todo si la dimensión del negocio que se va a potenciar es importante. En caso de que todavía más recursos generados por los negocios vaca, el resto se destinará a fondos propios y(o) dividendos (ver en la gráfica Figura 1 el sentido de las flechas más delgadas).

Por ley de vida, los negocios estrella y los interrogantes derivarán (al caer su tasa de crecimiento en la etapa final de su ciclo de vida) en un negocio vaca y perro, respectivamente, siendo una decisión muy habitual prescindir de algunos negocios perro para una mejor gestión de la empresa (ver en la gráfica el sentido de las flechas más gruesas).

Siguiendo lo establecido en la matriz BCG y la descripción de los diferentes segmentos de mercado para la ciudad de Montería, se establece la siguiente relación.

Interrogantes

El estrato 3 del sector residencial, representa el interrogante en este análisis. El estrato tres del segmento residencial de la ciudad muestra valores bastante interesantes para considerarlo como potencial cliente, sin embargo, en los últimos años, gran parte del norte de la ciudad (Estratos 4 y 5) han estado creciendo hacia las afueras de la ciudad en conjuntos residenciales y casas campestres. La gran mayoría de estos nuevos proyectos han sido clasificados dentro del estrato 3 de la ciudad, lo que afecta la percepción y el consumo de dicho estrato, ya que el poder adquisitivo de las personas que viven en estos “nuevos estrato 3” es comparable con los estratos 5 de la ciudad.

Lo anterior, afecta el comportamiento del consumo de dicho estrato en las curvas de consumo analizadas. Para este modelo de negocio, ese “nuevo estrato 3” representa un cliente potencial (ver Anexo 1 – Mercado del Servicio Eléctrico en la Ciudad de Montería).

Estrellas

El segmento comercial es el más consolidado y el de mayor crecimiento en la ciudad, está considerado como la fuerza económica que actualmente impulsa a la economía de Montería, sin embargo, existe aún mucha informalidad en el comercio. Por esta razón el enfoque es en el segmento comercial formal, que en los últimos 10 años ha presentado un desarrollo significativo, por su lado, las empresas de interés mantienen actividades continuas y crecientes en la ciudad.

La facturación de energía eléctrica en el segmento comercial muestra un incremento significativo anual, desde 2017, alcanzado su valor máximo en 2019 con una facturación total de 59 530 millones de pesos (ver Anexo 1 - Figura 6).

Vacas de efectivo

Estratos 4, 5 y 6 del segmento residencial. Con un precio promedio ascendente de 450 kWh en 2017 hasta 550 kWh en 2021 (ver Anexo 2 - Figura 1), el segmento residencial de estratos 4, 5 y 6 de la ciudad de Montería son sin duda uno de los mercados más llamativos para la implementación de este nuevo modelo de negocio. Si bien el comportamiento del precio del kWh es similar al de ciudades principales como Bogotá y Medellín, el consumo promedio para el estrato 4, por ejemplo, es aproximadamente 3,5 veces mayor que el mismo estrato en las ciudades de referencia. Para el estrato 5 y 6 es cerca de 3 veces mayor. Es importante destacar el poder adquisitivo asociado a dichos estratos y las implicaciones en términos de conocimiento y dinero que el nuevo modelo de negocio puede requerir (ver Anexo 1 – Mercado del Servicio Eléctrico en la Ciudad de Montería).

Otro sector considerado, como vaca de efectivo, es el de educación, ya que es uno de los más consolidados en la ciudad. La puntuación para la educación básica y media, en el índice de competitividad por ciudades del 2019, es uno de los más altos, 6,2, aquí se evidencia una tendencia creciente más

conservadora con una facturación total de 2 229 millones de pesos en 2019, lo que representa un incremento del 2,5% de 2017 a 2019.

Perros

Estratos 1 y 2 del segmento residencial. Teniendo en cuenta los gráficos de consumo promedio del segmento residencial por estratos, se puede observar que los estratos 1 y 2 no cuentan con un consumo significativamente alto, lo cual está directamente asociado al consumo y a los diferentes aparatos eléctricos disponibles. Adicionalmente, el Gobierno aplica un beneficio o alivio a la factura generada mensualmente (ver Anexo 1 – Mercado del Servicio Eléctrico en la Ciudad de Montería).

9. Análisis interno: modelo de negocio Canvas

Este trabajo tiene como objetivo analizar la viabilidad económica de una compañía nueva que se enfoca en soluciones FV, que busca diferenciarse y posicionarse en el mercado a través de la oferta de diferentes mecanismos e iniciativas, que faciliten la adopción tecnología de los sistemas FV y que mitiguen el impacto negativo de las barreras económicas en el desarrollo de proyectos de energías limpias.

Como se ha mencionado a lo largo del trabajo, el modelo busca combinar los sistemas FV con la venta de excedentes de energía en calidad de Auto generador (*Feed in Tariff*), la aplicación de los diferentes beneficios tributarios estipulados por el Gobierno y el modelo de arrendamiento o *leasing* de los sistemas FV (*Third Party Ownership o Direct Ownership*). Dichas iniciativas deben ser utilizadas y aprovechadas de forma óptima, de tal forma que permitan generar valor tanto al usuario final como a la compañía.

Siguiendo la metodología Canvas (Osterwalder, 2012; Osterwalder & Pigneur, 2010) el modelamiento de la propuesta de valor de un modelo de negocio debe partir de las necesidades y expectativas del segmento de clientes objetivo y para los cuales serán desarrolladas las soluciones.

Para ello, se partió de la identificación de los principales trabajos, dolores y motivadores de los segmentos de mercado con mayor potencial en la ciudad de Montería, determinados previamente a través de la metodología BCG. El proceso de la segmentación permitió identificar a los segmentos residencial de estratos 4, 5 y 6, el segmento comercial y el segmento de educación, como los que mayor presentan potencial para el desarrollo de sistemas FV con el modelo propuesto. Es de gran importancia acotar que dichos segmentos pertenecen a un grupo específico de mercado que cumple con los siguientes parámetros:

Pertenecen al Nivel 1 de tensión, es decir hacen parte de la baja tensión: tensión nominal < 1kV. (CREG, 2021)

Se encuentran dentro del casco urbano de la ciudad de Montería.

Son usuarios con la clasificación 'regulados' dentro del sistema de distribución de energía, es decir, usuarios cuyas compras de energía eléctrica están sujetas a las tarifas estipuladas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (RESOLUCIÓN No. 183, 2019).

Segmento de Clientes

La generación de la propuesta de valor sigue la metodología propuesta por (Osterwalder, 2012) en la cual se debe partir por la identificación de los principales trabajos, dolores y motivadores de los diferentes tipos de clientes de los segmentos seleccionados. A continuación se describen dichos parámetros en los segmentos de mercado determinados por medio de la metodología BCG:

Segmento Residencial, Estratos 4, 5 y 6

La Figura 1 caracteriza el perfil del cliente residencial desde su rol como consumidor y generador de demanda de energía eléctrica.

Los **trabajos** de este tipo de cliente se resumen en la generación de ahorro ante el consumo de energía que se genera desde su vivienda, y la protección de sus bienes ante eventuales fallas que se presentan en el suministro eléctrico en la región.

Los **dolores** del cliente residencial normalmente provienen de los altos precios en la facturación mensual del servicio de energía eléctrica por el alto consumo que presentan las viviendas en la zona caribe debido a la presencia de equipos como sistemas de aire acondicionado y ventiladores, entre otros. Esto, acompañado de las constantes fallas e interrupciones en el suministro, lo que genera insatisfacción y sobrecostos por el cambio de equipos dañados y la inversión en equipamiento de protección adicional.

Se identificaron cuatro **motivadores** como los de mayor relevancia para el cliente residencial al momento de evaluar la propuesta de adquirir un sistema FV: la reducción de costos, factor que siempre primará para un residencial; el aseguramiento de la calidad y suministro continuo del suministro eléctrico; el acceso a beneficios adicionales que impacten en su economía, como lo son los beneficios tributarios de la Ley 1715 de 2014; y el poder adquirir un sistema sin necesidad de realizar una alta inversión de capital inicial.



Figura 5. Identificación del Perfil del cliente para los clientes del Segmento Residencial de la ciudad de Montería en los estratos 4, 5 y 6.

Segmento Comercial

El sector comercial en la ciudad de Montería está compuesto por grandes superficies, locales de venta de productos, locales de producción y venta de alimentos, y por espacios de trabajo como oficinas.

Tienen como **trabajos** principales el asegurar la completa operación durante el periodo que tenga destinado a su labor, esto acompañado de la constante búsqueda de reducción de los costos de operación. Dichas características se encuentran directamente relacionadas con el suministro eléctrico y los costos que este implica. Además, la competencia dentro del segmento comercial genera que las compañías estén en constante búsqueda de posicionamiento en el segmento que se desempeñan (imagen corporativa).

De forma similar al segmento residencial, pero en mayor escala, los principales **dolores** de los comerciales están ligados a los altos costos de facturación mensual del servicio eléctrico, debido a la alta demanda energética por los factores característicos de la región ya mencionados; y a los altos costos en los que incurren para mantener un suministro confiable y seguro de energía eléctrica por medio de la inversión en equipamiento de protección de equipos.

Dependiendo de la naturaleza del negocio del cliente comercial, puede que este ya haya evaluado la posibilidad de adquirir sistemas FV que le permitan optimizar sus costos de operación y asegurar el

suministro eléctrico, existen algunas barreras económicas y de conocimiento que se convierten en **dolores**, como los altos costos de capital inicial y el desconocimiento de cómo llevar a cabo un proyecto FV.

La investigación del cliente comercial permitió identificar que estaría **motivado** a adquirir sistemas FV si estos le permiten generar ahorro en costos de operación; incrementar la confiabilidad y calidad de su sistema eléctrico; contar con flexibilidad financiera para la adquisición de sistemas FV; y contar con un sistema que le permita potenciar el posicionamiento de su marca entre sus clientes.

La Figura 7 resume el perfilamiento del cliente del segmento comercial para el cual se elaborará la propuesta de valor:

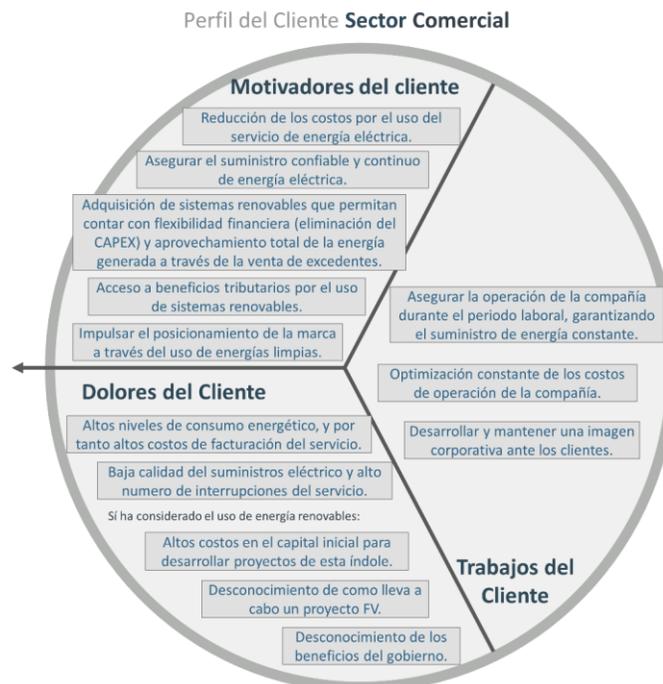


Figura 6. Identificación del Perfil del cliente para los clientes del Segmento Comercial de la ciudad de Montería.

Segmento Educación

En cuanto al perfilamiento de los clientes del segmento de educación presentados en la Figura 3, los **trabajos** se encuentran influenciados por el segmento de mercado en el que desarrollan sus operaciones y por las exigencias de su segmento de clientes, los estudiantes. El ahorro en el consumo y la

calidad del suministro es una constante en la región, sin embargo, el desarrollo de una imagen limpia, y la investigación e inversión en proyectos de innovación son una prioridad para este segmento.

Los **dolores** que presenta el cliente del segmento educación son iguales a los del segmento comercial, con la adición de la influencia de la insatisfacción de sus clientes ante la interrupción de la operación durante los periodos de aprendizaje e investigación.

En cuanto a **los motivadores** de un cliente de este segmento, se identifica principalmente el aseguramiento de la operación continua de sus procesos y el posicionamiento de su marca a través del uso de energías limpias, adicional a los motivadores que presenta un cliente comercial.

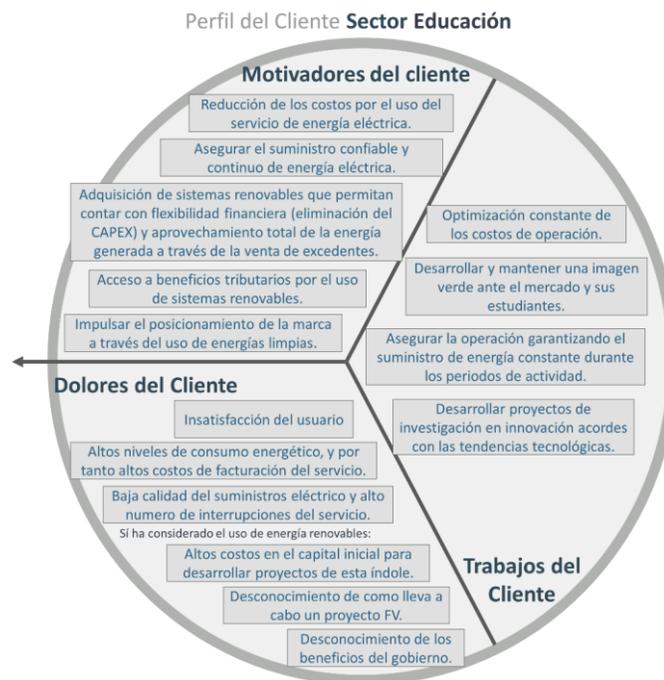


Figura 7. Identificación del Perfil del cliente para los clientes del Segmento Educación de la ciudad de Montería.

Propuesta de valor

El desarrollo del Mapa de Valor propuesto por (Osterwalder, 2012) permitió construir la propuesta mostrada en la Figura 8, donde se identifica la propuesta de productos y servicios en los cuales se enfocará la compañía para atender los segmentos de mercado residenciales, comerciales y de educación de la ciudad de Montería, e identificar parámetros con los cuales deben cumplir dichos servicios para que sean aceptados (aliviadores de dolor), así como la creación de generadores de valor adicional (motivadores) que permitan captar la atención del cliente para el desarrollo de proyectos FV con esta compañía.

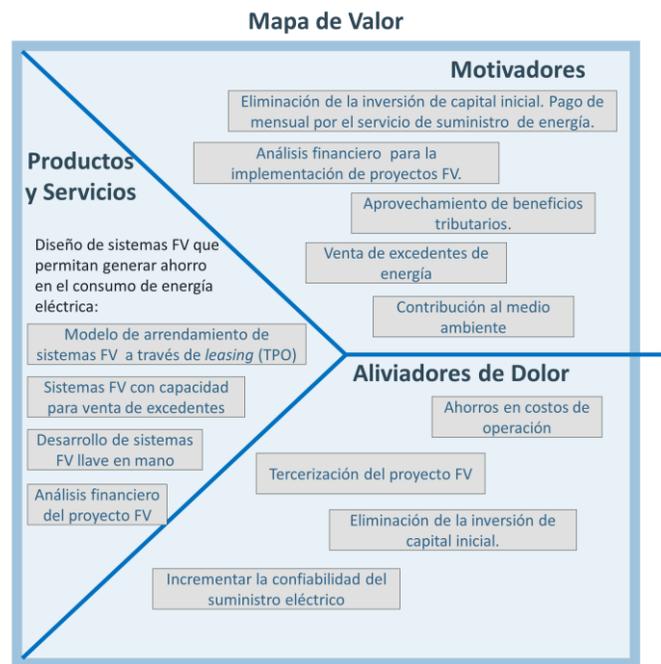


Figura 8. Mapa de valor de la compañía para atender los segmentos residenciales, comercial y de educación e la ciudad de Montería

La propuesta de valor de la compañía se resume en el “Análisis de viabilidad económica y dimensionamiento de sistemas FV customizados para cada tipo de segmento de cliente, a través de una cartera de modelos que permitan al usuario final: flexibilidad financiera, adquisición de beneficios tributarios, y confiabilidad en el servicio de energía eléctrica garantizando ahorros”.

Canales y relación con clientes

La compañía busca desarrollar diferentes canales tanto presenciales como digitales para llegar al cliente:

El desarrollo de un equipo comercial con conocimientos técnicos y económicos, que tenga un alto nivel de relacionamiento con los clientes de los diferentes segmentos, es vital para la implementación del modelo de negocio. Esto debido a que las soluciones son de carácter personalizado, ya que dependen estrictamente del perfil de demanda de cada cliente. Además, una de las principales barreras identificadas en este trabajo es la de conocimiento, por lo que es clave tener un equipo comercial que pueda difundir información que le permita al cliente conocer y entender los aspectos técnicos y económicos de la adopción de los sistemas FV.

El desarrollo de un portal web que facilite al cliente el acceso a información acerca de los servicios que ofrece la compañía, que permita dimensionar y costear de manera presupuestal y ágil un sistema FV de acuerdo con sus necesidades. Así se genera confianza, se mejora la experiencia de cliente y se filtran a los clientes potenciales.

En cuanto a clientes que ya han contratado los servicios de la compañía, el portal tiene como objetivo reducir la dependencia del cliente en los canales tradicionales, que normalmente no brindan un soporte inmediato. A través de portales de soporte técnico inmediato, solicitudes de servicio, plataformas para pago y tableros de gestión y desempeño, se busca brindar experiencia de facilidad, flexibilidad e independencia.

Finalmente, con el uso de las redes sociales como Instagram y de plataformas de analítica como Google, se busca llegar de forma dinámica a potenciales clientes, por medio del uso de filtros de ubicación, preferencias, rangos de edad y segmento en el que se desempeñan.

Fuentes de ingreso

Dentro de la generalidad de proyectos de implementación de sistemas fotovoltaicos, los siguientes corresponden a las principales formas de capitalizar ingresos:

Direct Ownership (DO)

Ocurre cuando existe una compra directa del sistema por parte del consumidor o este utiliza crédito para obtener el sistema.

Third Party Ownership (TPO)

El sistema en ningún momento pasa a titularidad del consumidor; por tanto, el proveedor se limita a arrendar este al consumidor. De hecho, constituye el modelo preferido por los consumidores finales. Por ejemplo, en países como Estados Unidos, representan entre el 60% y 90% de los proyectos instaurados a nivel residencial (Burger & Luke, 2017). En este caso, se pactan contratos de arrendamiento del sistema que pueden ir desde los 10, hasta los 20 años.

Tomando como base que la constitución de este tipo de proyectos puede decantar en flujos de caja constantes, aunque probables marginalidades en su construcción de valor, los estamentos regulatorios también han considerado que pueda ser posible que se constituyan ingresos producto de la venta de excedentes de energía a los operadores de red. Este tipo de modelo de ingresos se conoce como *Feed-in Tariff*. Por otra parte, es posible generar un cuarto tipo de ingresos mediante los servicios de mantenimiento del mismo sistema en arrendamiento y también por proyectos *Turnkey* (Llave en Mano).

Recursos clave

- En cuanto a **recursos financieros**, la compañía requiere del acceso rápido a líneas de crédito con entidades bancarias que faciliten la inversión inicial para el desarrollo del proyecto.
- Sobre **recursos intelectuales** es necesario el desarrollo de una solución personalizada y un modelo económico base para la expansión en el mercado.
- En relación con **recursos de personal**, existen cuatro áreas principales para la compañía: ingeniería, ventas, *marketing* y financiera.
- Con relación a los **recursos de infraestructura**, se encuentran las herramientas de diseño y el *hardware* necesario para el dimensionamiento de los proyectos. Adicionalmente, la infraestructura eléctrica del operador de red es un recurso vital para el desarrollo de proyectos conectados a esta y la venta de excedentes.

Actividades clave

Al ser una compañía nueva en la ciudad de Montería, se plantean cuatro actividades principales para la conformación y consolidación del modelo de negocio propuesto:

- El desarrollo de estrategias comerciales focalizadas hacia cada segmento de clientes. Esta es una actividad que debe desarrollar el equipo comercial. Dichas estrategias deben ser coordinadas por el equipo de ventas y *marketing*, quienes perfilan al cliente y generan el relacionamiento.
- El desarrollo y actualización continua del portal web para clientes.
- El análisis financiero ágil de modelos para la implementación de sistemas FV para los diferentes clientes.
- El modelado y dimensionamiento ágil de sistemas FV personalizados acorde a la demanda y necesidad del cliente.

Asociaciones clave

Como socios clave se tienen inicialmente considerados a aquellos con los cuales se requiere una interacción, que es prácticamente obligatoria, porque influyen directamente en la decisión del proyecto: operadores de red, la UPME, instituciones bancarias y certificadores RETIE.

Por otra parte, la compañía plantea la tercerización de algunos servicios que le permiten la optimización de costos durante su etapa de desarrollo y posicionamiento en el mercado: compañías prestadoras de mano de obra, proveedores de equipos e insumos y proveedores y desarrolladores del portal web.

Finalmente se encuentran aquellos quienes se convierten en aliados para la detección de oportunidades en los segmentos de mercados seleccionados: compañías constructoras, diseñadores eléctricos e instituciones educativas.

Estructura de costos

El costo de implementación de un proyecto fotovoltaico depende en su inversión inicial y presupuesto, de las siguientes variables, entre otras:

- Cantidad de paneles a instalar.
- Número de Inversores.

- Fungibles.

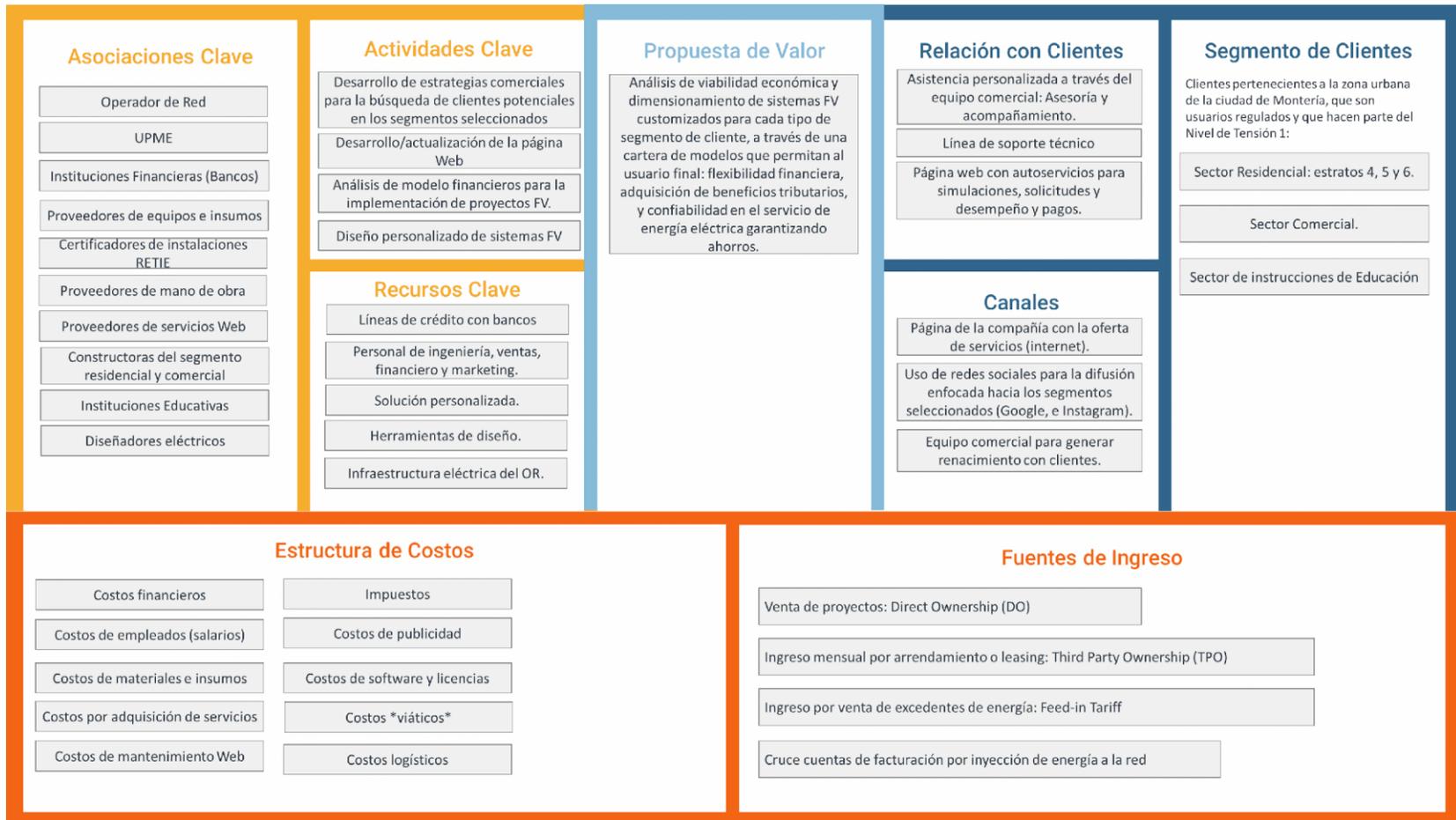
Por otra parte, el plan de expansión energética para Colombia del 2017 al 2031, estimado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (UPME, 2018), indica que los siguientes son elementos clave en la implementación de proyectos fotovoltaicos:

- Costos de inversión para el montaje de la infraestructura.
- Costos de puesta en funcionamiento.
- Costos de trámites y permisos.
- Ubicación geográfica.

Finalmente, una vez operativos los proyectos, la gestión de los costos de la empresa se estima de la siguiente forma (René et al., 2019):

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| ● Insumos | 30% del total de costos. |
| ● Mano de obra directa | 60% del total de costos. |
| ● Costos indirectos | 10% del total de costos. |
| ● Gastos | 30% del total de ingresos. |

Figura 9. CANVAS



10. Caracterización de clientes

El análisis de potencial de clientes realizado por medio de la metodología de la matriz BCG, permitió determinar tres clasificaciones de clientes (residencial estratos 4 al 6, comercial y educación), para quienes por medio del análisis la metodología Canvas se logró determinar una propuesta de valor que facilite la adopción de los sistemas FV. Sin embargo, el análisis de viabilidad es el que definirá, desde el aspecto económico, si la propuesta de valor es rentable para la compañía.

Dicho análisis de viabilidad requiere del modelamiento de cada uno de los potenciales clientes, según su comportamiento de consumo energético. Factores como la ubicación geográfica, los costos del kWh y las diferentes condiciones meteorológicas que se presentan a lo largo del año, deben ser tenidas en cuenta para la creación de los modelos.

Factores relevantes que se tuvieron en cuenta para el modelamiento:

- Fuente de los datos de demanda y costo del kWh: la plataforma O3 del Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2021).
- Se utilizó el *software* FV PV*SOL (Valentin Software GmbH, 2021) para determinar las curvas de demanda según el tipo de cliente, y la información relacionada con radiación solar y los datos de hora de sol para la ubicación geográfica seleccionada; cuenta con la base de datos de los años 1996 al 2015 para la ciudad de Montería.
- El análisis de los datos tomados del portal O3 se realizó por medio de la herramienta de *software* *Power Bi* de *Microsoft*.

El proceso de caracterización se basa en tres componentes:

- Comportamiento de la demanda energética anual en la ubicación geográfica.
- Comportamiento de la demanda energética diaria según el tipo de usuario.
- Valores mínimos, medios y máximos de demanda energética para cada tipo de cliente.

Comportamiento mensual de la demanda de energía eléctrica en la ciudad de Montería

Con base en los datos de la demanda energética en la ciudad de Montería para el año 2019 (ver Anexo 3 – Demanda de energía eléctrica ciudad de Montería) se determinó el comportamiento de la demanda mensual global de cada uno de los segmentos de mercado seleccionados. Es importante resaltar que el modelo de negocio que se propone se aplicaría a clientes que hacen parte de la red interconectada del país y que a su vez pertenecen al Nivel 1 de tensión (< 1 kV).

Las Figuras 10, 11 y 12 representan la caracterización de la demanda de energía eléctrica mensual de cada segmento de clientes de forma porcentual. Esta representación permite añadir precisión tanto al diseño del sistema FV, como al modelo financiero del proyecto, ya que está basado en el comportamiento de la demanda de 4 651 usuarios residenciales estrato 4, 1 943 usuarios estrato 5, 1 548 usuarios estrato 6, 9 513 usuarios comerciales, y 155 usuarios del sector educación de la ciudad de Montería.

Se identificó que para los tres segmentos de clientes el promedio de la demanda mensual de energía eléctrica es de 8,33% del total de la demanda anual. Sin embargo, la desviación estándar varía para cada segmento: residencial 0,45%, comercial 0,65% y educación 2,91%. Dicha variación se puede evidenciar de forma gráfica, mientras el sector residencial presenta un comportamiento mayormente constante (ver Figura 10), el sector comercial presenta variaciones fuertes para los meses de enero y febrero (ver Figura 11), y el sector educación presenta niveles de demanda bajos en los meses que hacen parte de las vacaciones escolares y universitarias: enero, febrero y agosto (ver Figura 12).



Figura 10. Comportamiento anual del sector residencial.

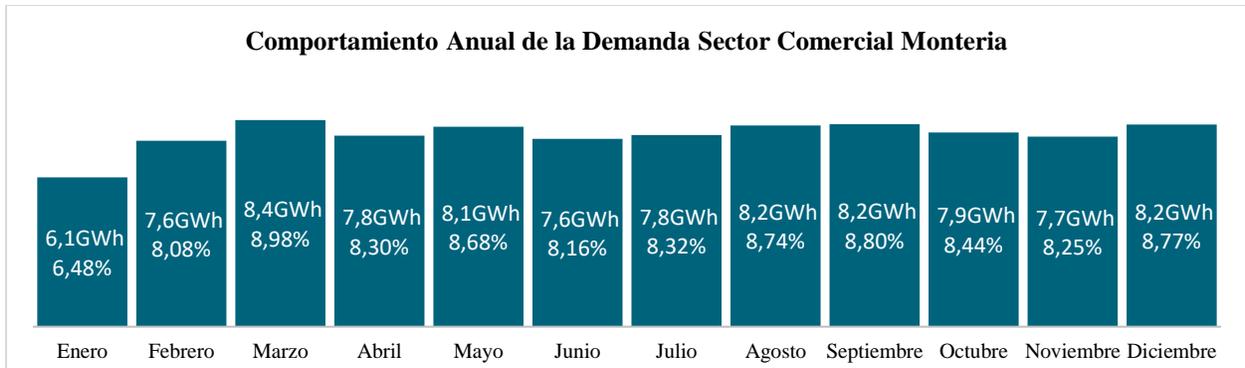


Figura 11. Comportamiento anual del sector comercial.

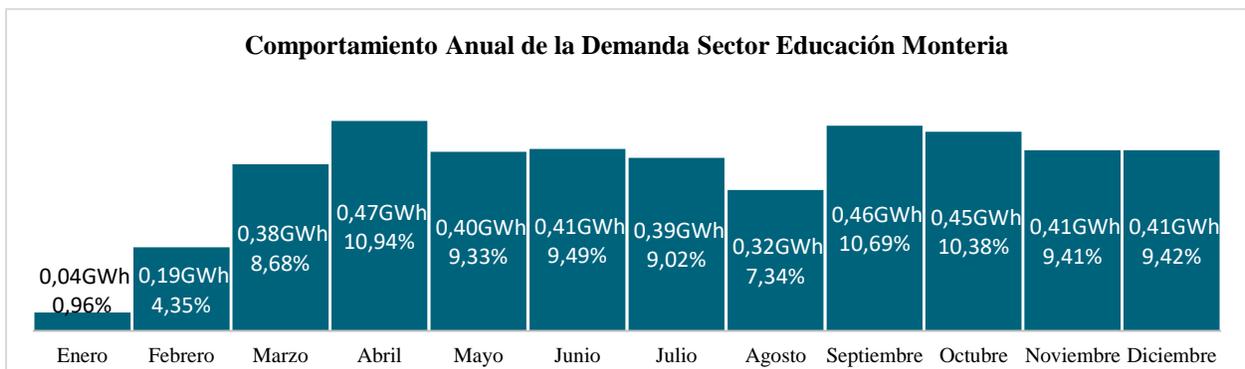


Figura 12. Comportamiento anual del sector educación.

Curvas de demanda

Las curvas de comportamiento de la demanda presentadas en las Figuras 13, 14 y 15 se crearon con base en la información que provee el *software* de simulación de sistemas FV PV*SOL (Valentin Software GmbH, 2021). Dicha herramienta presenta una amplia biblioteca de curvas de demanda para diferentes tipos de usuario, que a su vez pueden ser adecuadas a las condiciones de la ubicación geográfica en estudio.

Las curvas de demanda son una representación del comportamiento diario típico de un usuario de un segmento específico. Dichas curvas representan la demanda horaria, de forma porcentual, durante un día. Esta información permite identificar los picos de demanda energética que son necesarios para el dimensionamiento del sistema FV.

En el sector residencial (ver Figura 13) se evidencian picos de demanda durante entre las 5:00 y 7:00, horas en las que típicamente la actividad inicia en las viviendas, donde la preparación para las actividades laborales y educativas genera demanda de energía eléctrica. Un segundo pico se puede identificar entre las 17:00 y 22:00, horas promedio de regreso a las viviendas, después de la actividad laboral y educativa, así como del uso de iluminación, equipos electrónicos y electrodomésticos.

En el sector comercial (ver Figura 14) se puede evidenciar de forma clara el inicio a las 7:00, y el fin de la actividad comercial entre las 18:00 y las 20:00.

Finalmente, en el sector educación (ver Figura 15) se identifica un pico de demanda bastante pronunciado que empieza a las 7:00 y finaliza a las 14:00, y un pico más pequeño durante las 16:00 y las 20:00, esto permite identificar las horas de mayor actividad educativa en la ciudad de Montería.

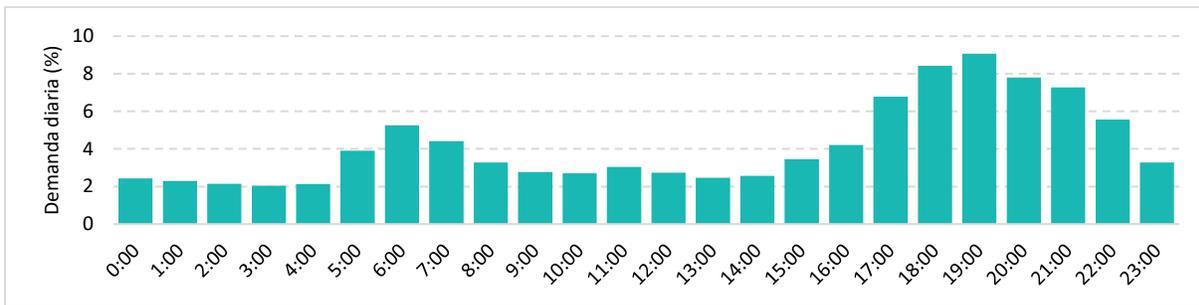


Figura 13. Curva de demanda diaria del sector residencial.

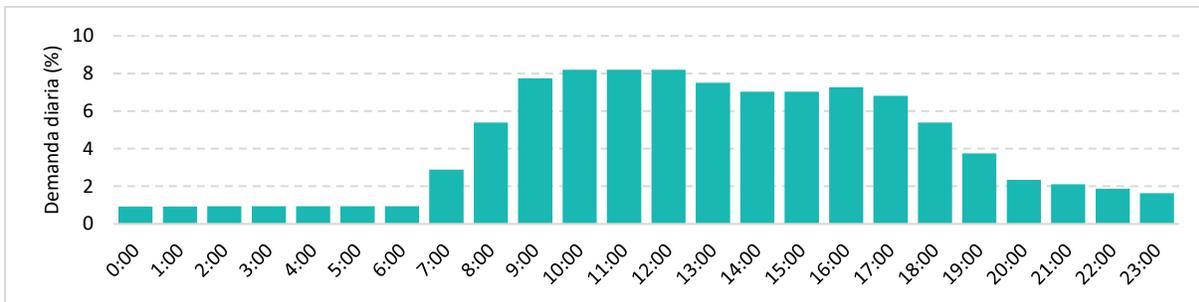


Figura 14. Curva de demanda diaria del sector comercial.

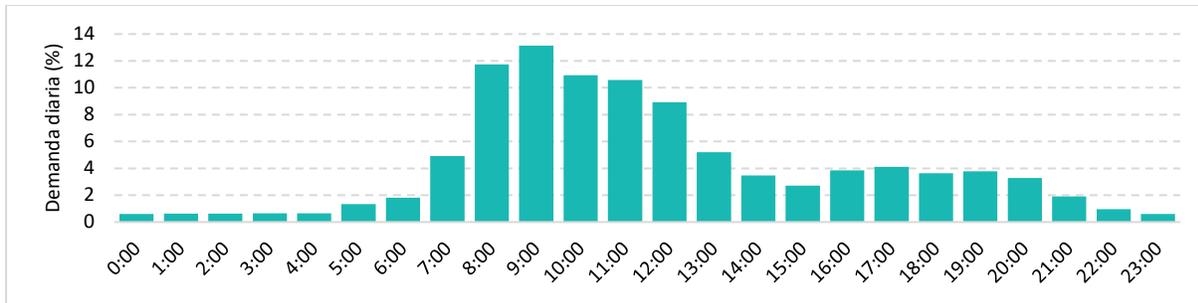


Figura 15. Curva de demanda diaria del sector educación.

Escenarios de demanda

El modelo de negocio que plantea este trabajo presenta el modelo de venta de excedentes de energía eléctrica como una de las propuestas de valor, sin embargo, la venta de excedentes se puede evaluar a través de dos escenarios: el autoconsumo y la venta de excedentes.

La Figura 16 esquematiza el funcionamiento del sistema FV, en donde E_{user} representa la demanda energética total del usuario y E_{FV} la energía que genera el sistema fotovoltaico. Debido a la ausencia de baterías, ya que estas pueden llegar a incrementar el CAPEX entre un 20% y 40% (UPME, 2018), el sistema debe estar interconectado a la red; por tanto, durante las horas de baja radiación solar el usuario tomará energía tanto del sistema FV como de la red, así mismo, durante las horas de cero radiación, el operador de red suministrará el 100% de la demanda horaria.

La venta de excedentes a través del **autoconsumo**: esta alternativa tiene como objetivo diseñar el sistema FV para cubrir como máximo la demanda total diaria del usuario (kWh). Este escenario busca realizar un cruce de cuentas entre el operador de red y el usuario en la facturación mensual de la energía. El sistema FV es dimensionado para cubrir como máximo la demanda total diaria del usuario. Es decir:

$$E_{iny} \approx E_{red}$$

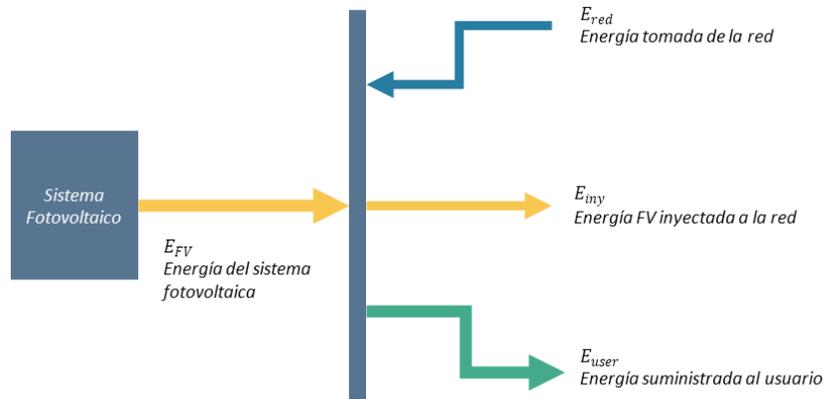


Figura 16. Esquema del funcionamiento del sistema FV.

La **venta de excedentes** se da cuando el sistema FV está sobredimensionado, de tal forma que le permita al usuario generar energía suficiente para cubrir su demanda, autoconsumo y, adicionalmente, generar energía excedente. En este escenario se aplican dos modelos: el de cruce de cuentas para cubrir la demanda total del usuario, y el de venta de energía del usuario al operador de red para cubrir los excedentes. En este último modelo el operador de red debe pagar la energía excedente al usuario a precio de bolsa, descontando los costos de comercialización, transmisión y distribución.

$$E_{iny} > E_{red}$$

El sobredimensionamiento del sistema tiene un impacto directo en los costos de capital del proyecto. Debido a esto se crearon dos escenarios de demanda para cada tipo de usuario, con el objetivo de determinar el escenario con la mayor viabilidad económica.

A partir de los datos de demanda energética y número de usuarios mensuales para los clientes del sector residencial estrato 3, 4, 5 y 6, sector comercial y sector educación, obtenidos en la plataforma O3 (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2021), en la Tabla 1 se plantearon los escenarios de generación FV para cada segmento de clientes. Es importante resaltar que los valores de autoconsumo presentados son iguales a la demanda real media unitaria.

Por medio de la consulta con expertos en diseño de sistemas FV, se determinó que el sobredimensionamiento del sistema depende principalmente de la disponibilidad de espacio para la instalación de paneles fotovoltaicos, y por lo tanto se prioriza el autoconsumo. Típicamente para los

segmentos residencial, comercial y educación el sobredimensionamiento promedio es de 10%, 25% y 25% respectivamente, valores que se ubican en el escenario de venta de excedentes de la Tabla 1.

Tabla 1. Escenarios de generación de energía FV.

Segmento de clientes	Escenario	Sistema FV (kWh/año)
Sector Residencial	Autoconsumo	5.292
	Venta de Excedentes	5.821
Sector Comercial	Autoconsumo	9.840
	Venta de Excedentes	12.300
Sector Educación	Autoconsumo	28.005
	Venta de Excedentes	35.006

11. Dimensionamiento de los sistemas FV

Por medio del uso del *software* PV*SOL (Valentin Software GmbH, 2021), se realizó el dimensionamiento y la simulación de los sistemas FV para los tres segmentos de clientes y los dos escenarios posibles para cada uno, con un total de seis simulaciones. La Tabla 2 resume los resultados de las simulaciones en cinco secciones diferentes: dimensionamiento del sistema FV, simulación del sistema FV, costos, facturación anual de energía y CAPEX unitario del proyecto.

Dimensionamiento del sistema

El dimensionamiento del sistema tiene como objetivo determinar la Potencia Nominal del sistema FV, que se define también como la máxima potencia que es capaz de producir el arreglo de paneles solares que hacen parte del sistema. Por medio del *software* PV*SOL y con base en los parámetros determinados previamente de valores medios de demanda (E_{user}), las curvas de comportamiento de demanda anual para la ciudad de Montería y las curvas de demanda diaria para cada tipo de cliente, fue posible seleccionar el arreglo de paneles FV óptimo para cada escenario.

En la Tabla 2 se puede observar que, para un usuario residencial con autoconsumo, la potencia nominal del sistema FV se ubica en 3,2kWp, haciendo uso de 8 paneles de 400W, y para el caso de venta de excedentes la potencia nominal se eleva tan solo a 3,6kWp al aumentar un solo panel de las mismas características. Un panel de dichas características puede llegar a ocupar aproximadamente 1,8 m², es importante resaltar que para un usuario residencial el área es un recurso que es limitado y se debe priorizar el autoconsumo sobre la venta de excedentes.

De forma opuesta, para los casos comercial y educación se observa un incremento de 5 y 12 paneles, respectivamente. Esto se debe a que este segmento de clientes cuenta con mayor disponibilidad de área y por lo tanto la evaluación de la venta de excedentes no se ve fuertemente limitada.

Simulación del sistema FV

La Tabla 2 muestra los resultados de la simulación de energía y demanda de energía eléctrica para cada tipo de usuario en el periodo de un año. El *software* realiza la simulación diaria basándose en los

históricos de radiación solar de los años 1996 al 2015. Para ejemplificar la lectura de los resultados se tomó el caso de segmento comercial en sus dos escenarios:

Escenario comercial autoconsumo

Con el fin de facilitar el entendimiento de la simulación se tomó como base la gráfica de la Figura 12, la cual presenta la sumatoria los resultados de la simulación de un año con base en la curva de demanda diaria del perfil comercial.

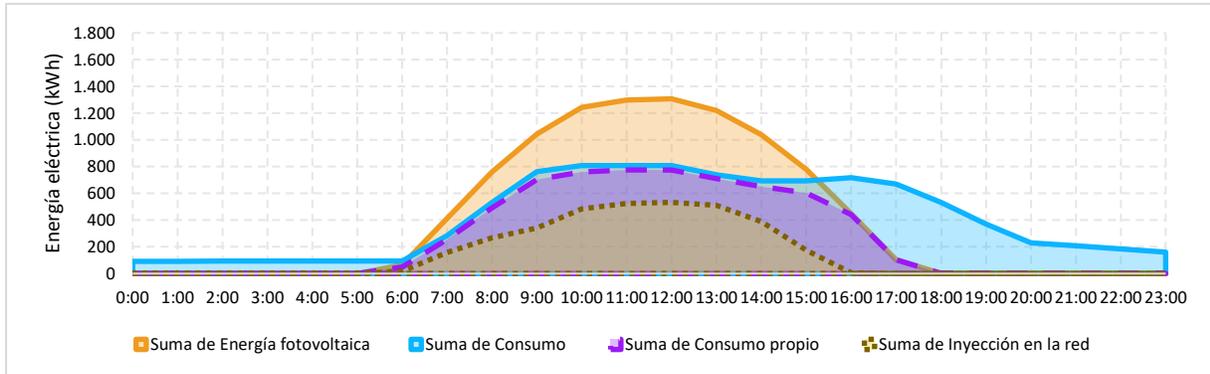


Figura 17. Simulación Perfil Comercial - Autoconsumo

El dimensionamiento dio como resultado un sistema FV de 6kWp de potencia nominal. La simulación de generación y demanda de energía eléctrica determinó que dicho sistema tiene la capacidad de generar $E_{FV} = 9\,718$ kWh durante un año (área bajo la curva de “Suma de Energía Fotovoltaica”). Se puede evidenciar que durante las horas de radiación solar se presentan dos casos: la energía generada E_{FV} es total o parcialmente utilizada para cubrir la demanda (“Suma de Consumo”), esto se ve representado por el área bajo la curva de la “Suma de Consumo Propio”.

El segundo caso se da con la energía remanente, o que no es utilizada para cubrir la demanda propia, principalmente entre las 6:30 y las 15:30. Esta energía es inyectada directamente a la red (área bajo la curva de “Suma de Inyección en la red”) del operador y es posteriormente utilizada para realizar el cruce de cuentas con a la energía que se tomó de la red durante las horas de baja o nula generación FV. es decir:

La energía FV generada y la energía FV utilizada para consumo propio determinadas son,

$$E_{FV} = 9.718 \frac{kWh}{año} \text{ y } E_{prop} = 6.316 \frac{kWh}{año}$$

La energía inyectada está dada por,

$$E_{iny} = E_{FV} - E_{prop} = 3.402 \frac{kWh}{año}$$

La energía que el usuario debe tomar del operador de red se determina como,

$$E_{red} = E_{user} - E_{prop} = 3.525 \frac{kWh}{año}$$

La energía disponible para realizar el cruce de cuentas está dada por la condición en la que, si la energía inyectada a la red es menor que la energía tomada de la red, el cruce de cuentas se realiza con el valor de la energía inyectada. En el caso contrario, en el que la energía tomada de la red es menor, esta misma se debe usar para realizar el cruce de cuentas, y se daría un cruce de cuentas del 100%:

$$E_{cruce} = \begin{cases} E_{iny}, & E_{iny} \leq E_{red} \\ E_{red}, & E_{iny} > E_{red} \end{cases}$$

Para el caso del usuario comercial con autoconsumo se determinó que $E_{iny} \leq E_{red}$ por tanto $E_{cruce} = E_{iny}$.

Si se llegara a presentar el caso $E_{iny} > E_{red}$ y al ser el caso de autoconsumo, la energía remanente después del cruce de cuentas se pierde y no se vende al operador de red.

Escenario comercial con venta de excedentes:

El dimensionamiento de este escenario arrojó un sistema FV de 8kWp de potencia nominal el cual tiene la capacidad de generar $E_{FV} = 12.957 \frac{kWh}{año}$, utilizando $E_{prop} = 6.637 \frac{kWh}{año}$ para su consumo propio (ver grafica de la Figura 18). Por tanto,

$$E_{iny} = E_{FV} - E_{prop} = 6.320 \frac{kWh}{año}$$

$$E_{red} = E_{user} - E_{prop} = 3.204 \frac{kWh}{año}$$

Como $E_{iny} > E_{red}$ la energía para cruce de cunetas es,

$$E_{cruce} = E_{red} = 3.204 \frac{kWh}{año}$$

Este escenario presenta la venta de excedentes, la energía disponible para la venta está dada por,

$$E_{venta} = E_{FV} - E_{prop} - E_{cruce} = 3.117 \frac{kWh}{año}$$

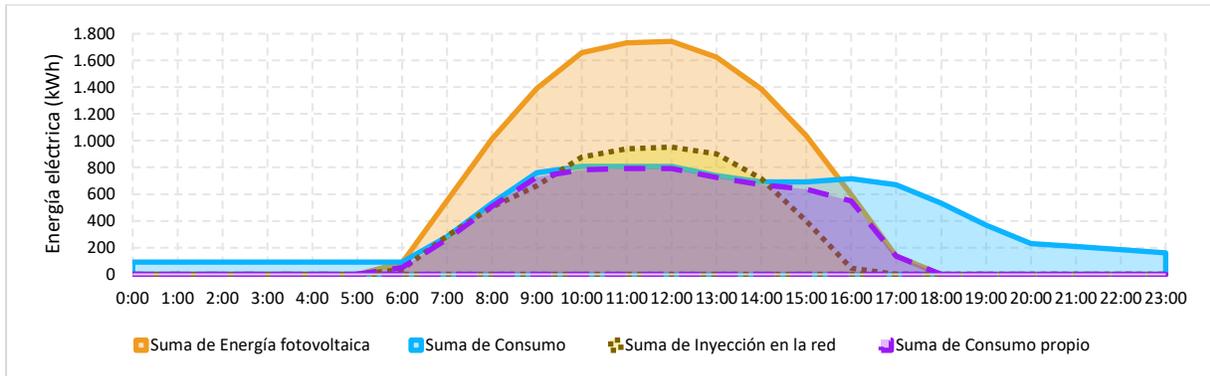


Figura 18. Simulación perfil Comercial - venta de excedentes

De forma análoga, para los casos residencial con autoconsumo, residencial con venta de excedentes, educación con autoconsumo y educación con venta de excedentes, representados en las gráficas de las Figuras 19, 20, 21 y 22, respectivamente, se aplicó la misma metodología para la interpretación de los resultados consignados en la Tabla 2.

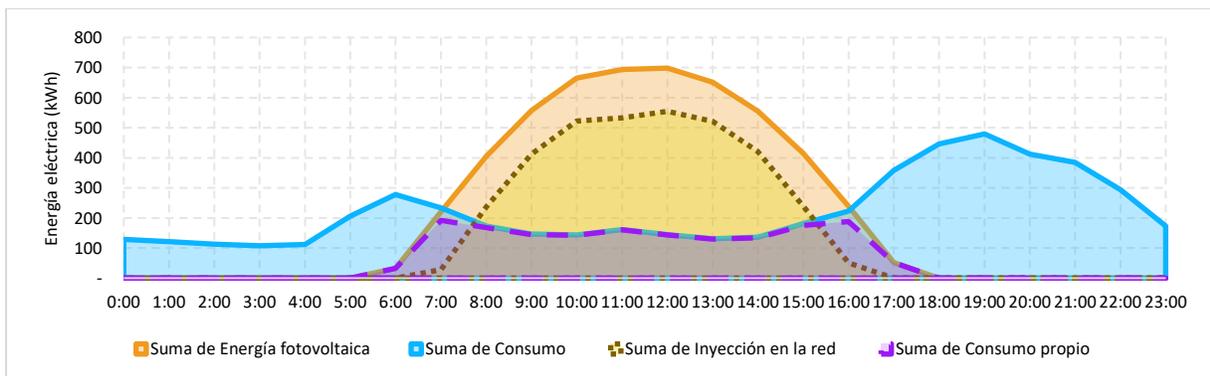


Figura 19. Simulación perfil residencial - autoconsumo

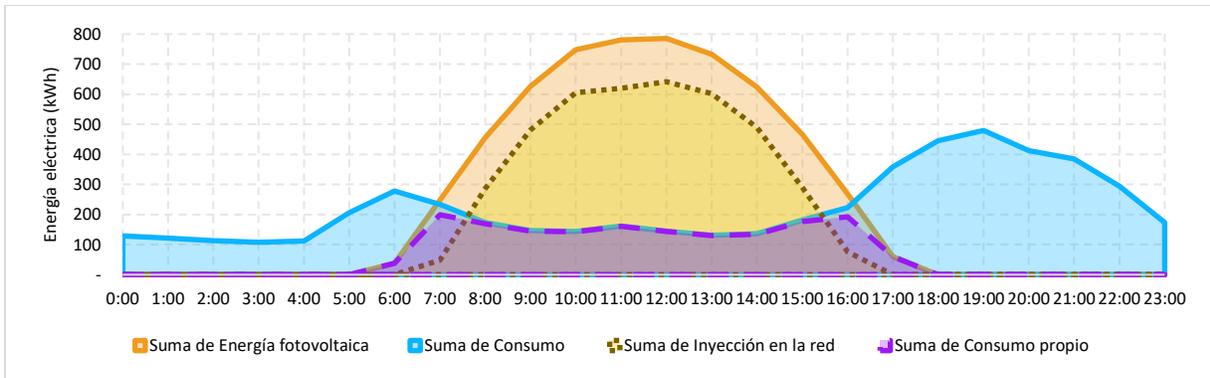


Figura 20. Simulación perfil residencial – venta de excedentes

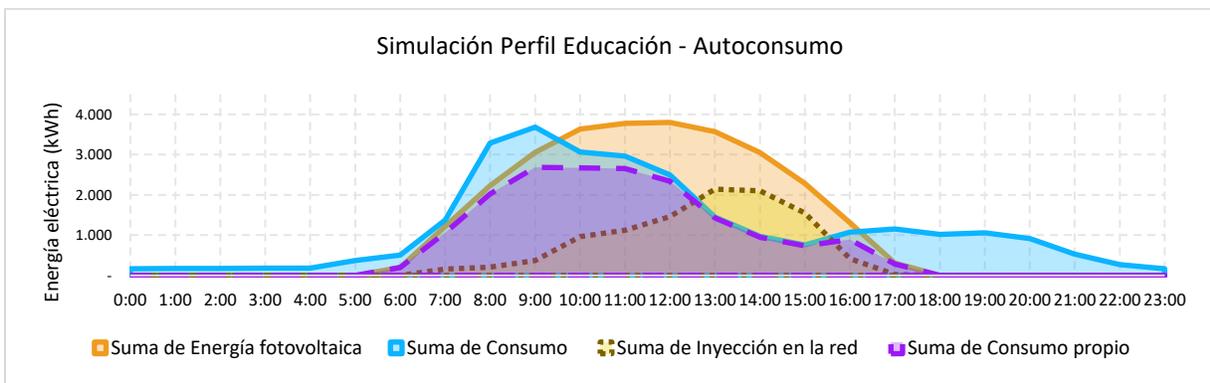


Figura 21. Simulación perfil educación - autoconsumo

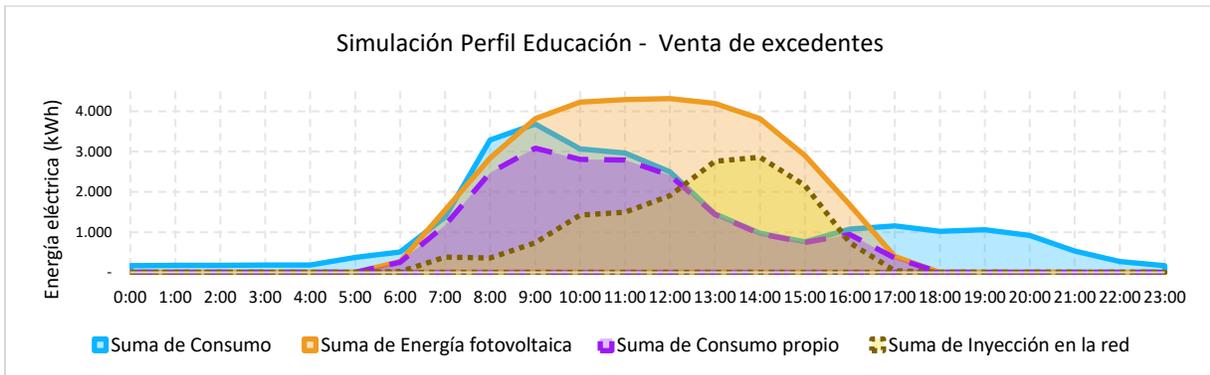


Figura 22. Simulación perfil educación – venta de excedentes

Costos

Con el fin de determinar la viabilidad financiera para cada uno de los casos propuestos, es necesario evaluar desde la perspectiva del usuario y definir algunos parámetros que son necesarios para identificar el costo de la energía eléctrica, tanto para el caso actual (sin sistema FV) como para el caso que propone este trabajo (con sistema FV).

Precio del kWh:

A partir de los datos obtenidos en la plataforma O3 (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2021) se obtuvo la información del precio del kWh para el año 2020 (ver Anexo 2 – Evolución del Precio del kWh), de lo cual se obtuvo:

- Para los usuarios residenciales (estratos 4, 5 y 6) se determinó un precio promedio de \$568,36 COP/kWh, con una desviación estándar de \$31,19 COP/kWh.
- Para los usuarios comerciales y de sector educación se determinó un precio promedio de \$543,15 COP/kWh, con una desviación estándar de \$32,41 COP/kWh.

Precio de bolsa del kWh y costo de comercialización de energía

Previo a establecer un precio de bolsa para el kWh, para el ejercicio de simulación financiera es importante establecer dos precedentes con base en lo estipulado en la Resolución 030 de 2018 que regula y establece los criterios para las actividades de autogeneración objeto de este trabajo:

- Para el escenario de la autogeneración se ha mencionado previamente el modelo del cruce de cuentas, dicho de otra manera, el cruce E_{cruce} realizaría al precio del kWh (\$568,36 y \$543,15 para los casos residencial y comercial-educación, respectivamente). Sin embargo, este escenario no contempla ningún tipo de transacción económica del operador de red hacia el usuario.
- El escenario de venta de excedentes cuenta con dos tipos de intercambio: 1) cruce de cuentas de E_{cruce} , que se realizaría al precio del kWh y sin transacción económica; 2) venta de E_{venta} a precio de la bolsa del kWh del usuario al operador de red, lo que conlleva una transacción económica.

La compañía XM se encarga de la administración y operación del mercado eléctrico colombiano, en su Portal de Indicadores (XM, 2022) en la sección de “Precio de escasez y precio máximo de Bolsa(\$/kWh)” presenta el histórico con una resolución diaria de los datos de bolsa para el año 2020. Si bien el precio de bolsa depende de diversos factores como los escasez de recursos hídricos y las fuentes

de generación, se determinó que se ubica entre el 16% y 20% del precio del kWh facturado por el operador de red al usuario.

Al realizar inyección de energía en la red del operador, el usuario estaría utilizando los activos de este (redes de distribución), ya sea para el escenario de autogeneración o el de venta de excedentes, debido a esto la CREG 030 (RESOLUCIÓN No. 183, 2019) estipula que el usuario debe pagar al operador el equivalente al componente C o costos de comercialización, que con base en los datos obtenidos de la plataforma O3 y del portal de indicadores de XM (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2021; XM, 2022) corresponden en promedio al 11,33% del costo del kWh.

CAPEX

La UPME en su Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2017-2031 (UPME, 2018) presenta un estudio de los costos de capital CAPEX por kW instalado para las diferentes regiones del país. Dicho estudio lo realiza basándose en el reporte de proyectos instalados en cada región y en los datos provenientes de las estaciones meteorológicas del país. Para los departamentos de Córdoba y Sucre el CAPEX determinado por la UPME es de 1 550 US\$/kW.

El CAPEX del proyecto ($CAPEX_{proyecto}$) se determina como el producto entre $CAPEX_{UPME}$, la potencia nominal del proyecto P_N y el valor de la tasa representativa del mercado (TRM).

$$CAPEX_{proyecto} = CAPEX_{UPME} \cdot P_N \cdot TRM$$

Facturación anual de energía eléctrica

Esta sección de la Tabla 2, presenta dos tipos de cálculo que permiten definir una de las variables más importantes de este proyecto, el “ingreso o ahorro en la facturación”:

La **facturación anual sin sistema FV**, corresponde al importe anual que el usuario paga al operador de red al tomar el 100% de la demanda de este. Se calcula como el producto entre el total de la demanda y el precio del kWh.

Para definir la **facturación anual con sistema FV** se requiere determinar tres variables:

- Importe por consumo de la red: el producto entre el total de energía tomada de la red y el precio del kWh.
- El costo de comercialización de energía: el producto entre la energía inyectada a la red y el costo del componente de comercialización.
- El ingreso por venta de excedentes: el producto entre energía excedente para venta y el precio de bolsa del kWh.

La sumatoria de estas tres variables permite determinar la facturación anual total de energía del usuario con sistemas FV.

Finalmente, el **Ingreso o Ahorro** se determina por la diferencia entre la facturación anual sin sistema FV y la facturación anual con sistema FV. Variable que permite determinar, en una primera instancia, la viabilidad del sistema desde el punto de vista del ahorro en facturación, sin embargo, esta no contempla el impacto de los costos de capital (CAPEX).

Tabla 2. Dimensionamiento y simulación de los sistemas FV para los escenarios de autoconsumo y venta de excedentes.

Escenario	Perfil Residencial		Perfil Comercial		Perfil Educación	
	Autoconsumo	Venta de Excedentes	Autoconsumo	Venta de Excedentes	Autoconsumo	Venta de Excedentes
Demanda E_{user} (kWh/año)	5.292	5.292	9.840	9.840	28.005	28.005
Dimensionamiento del sistema FV						
Potencia nominal P_N sistema FV (kWp)	3,20	3,60	6,00	8,00	17,60	22,40
Cantidad de paneles FV	8	9	15	20	44	56
Potencia de panel FV (W)	400	400	400	400	400	400
Inversores FV (cantidad - potencia)	2MPP - 3400W	2MPP - 3400W	3MPP - 5100W	2MPP - 5100W	4MPP - 6800W	4MPP - 6800W
Simulación del sistema FV						
Energía Fotovoltaica E_{FV} (kWh/año)	5.182	5.834	9.718	12.957	28.433	34.289
Energía FV para consumo propio (kWh/año)	1.663	1.693	6.316	6.637	17.913	19.422
Energía FV para consumo propio (%)	32,1%	29,0%	65,0%	51,2%	63,0%	56,6%
Consumo de energía OR E_{red} (kWh/año)	3.629	3.599	3.525	3.204	10.092	8.583
Energía inyectada a la red E_{iny} (kWh/año)	3.519	4.141	3.402	6.320	10.521	14.867
Energía inyectada a la red E_{iny} (%)	67,9%	71,0%	35,0%	48,8%	37,0%	43,4%
Energía para cruce de cuentas (kWh/año)	3.519	3.599	3.402	3.204	10.092	8.583
Energía para cruce de cuentas (%)	67,9%	61,7%	35,0%	24,7%	35,5%	25,0%
Energía excedente para venta (kWh/año)	-	542	-	3.117	-	6.284
Energía excedente para venta (%)	-	9,3%	-	24,1%	-	18,3%
Costos						
Precio kWh (\$COP/kWh)	\$ 560,00	\$ 560,00	\$ 546,00	\$ 546,00	\$ 546,00	\$ 546,00
Precio de bolsa del kWh (\$COP/kWh)		\$ 112,00		\$ 109,20		\$ 109,20
Costo de comercialización (\$COP/kWh)	\$ 63,45	\$ 63,45	\$ 61,86	\$ 61,86	\$ 61,86	\$ 61,86
Facturación anual de energía eléctrica						
Facturación anual SIN Sistema FV (\$COP)	\$ 2.963.537	\$ 2.963.537	\$ 5.372.733	\$ 5.372.733	\$ 15.290.653	\$ 15.290.659
Facturación consumo OR (\$COP)	\$ 2.032.290,40	\$ 2.015.406,40	\$ 1.924.382,46	\$ 1.749.127,38	\$ 5.510.405,98	\$ 4.686.159,66
Costo de comercialización de E_{iny} (\$COP)	\$ 223.248,13	\$ 262.747,69	\$ 210.453,84	\$ 390.972,14	\$ 650.837,21	\$ 919.711,75
Ingreso por venta de excedentes (\$COP)	-	\$ 60.727,52	-	\$ 340.328,35	-	\$ 686.266,31
Facturación anual CON Sistema FV (\$COP)	\$ 2.255.538,53	\$ 2.338.881,61	\$ 2.134.836,30	\$ 2.480.427,88	\$ 6.161.243,19	\$ 6.292.137,72
Ingreso o ahorro en facturación (\$COP)	\$ 707.998,27	\$ 624.655,19	\$ 3.237.896,52	\$ 2.892.304,94	\$ 9.129.410,06	\$ 8.998.521,30
CAPEX unitario del proyecto						
CAPEX USD\$/kWp (Córdoba Sucre) UPME	USD 1.150,00					
TRM (\$COP)	\$ 4.100,00	\$ 4.100,00	\$ 4.100,00	\$ 4.100,00	\$ 4.100,00	\$ 4.100,00
CAPEX Proyecto (\$COP)	\$ 15.088.000	\$ 16.974.000	\$ 28.290.000	\$ 37.720.000	\$ 82.984.000	\$ 105.616.000

12. Análisis de viabilidad

Como ya se ha mencionado, este proyecto busca determinar la viabilidad económica de la implementación de sistemas FV, bajo la propuesta de valor descrita en el Canvas, para los segmentos de clientes residencial (estratos 4, 5 y 6), y los sectores comerciales y educativos en la ciudad de Montería. La metodología para determinar la viabilidad financiera de los modelos propuestos sigue la siguiente estructura:

- Definición del mercado a servir.
- Simulación de la demanda para el mercado seleccionado por medio de simulaciones de Montecarlo para determinar: CAPEX y ahorro.
- Análisis financiero por medio del planteamiento del flujo de caja del proyecto para cada segmento.

Definición del mercado a servir

Como primer paso, es importante definir la porción de mercado, o número de usuarios, que este proyecto busca atender para cada segmento, ya que esto nos permitirá realizar las simulaciones de demanda unitaria y de flujo de caja del proyecto.

Este modelo de negocio considera el análisis para la inclusión de caso con 40 clientes residenciales, 50 comerciales y 15 del sector educación, que representan un total del 0,5%, 0,5% y 10% del total de usuarios de la ciudad de Montería pertenecientes a la zona interconectada el país y que se ubican en el nivel de tensión 1, respectivamente.

Simulación de la demanda y CAPEX

La simulación del sistema FV determinada por medio del *software* PV*SOL (Valentin Software GmbH, 2021) arrojó los valores de demanda horaria durante un año, en total cada simulación generó 8 760 datos. Con el fin de determinar los valores más probables de demanda energética para los 105 usuarios mencionados en la definición del mercado a servir, se aplicó la metodología de las simulaciones de Montecarlo para los dos escenarios posibles: autoconsumo y venta de excedentes. Dicho proceso tiene

como objetivo determinar la potencia nominal de los sistemas FV para cada usuario simulado, y de esta manera poder calcular los costos de capital (CAPEX) individuales y totales.

Con el fin de obtener la demanda total anual por cliente, se determinaron las curvas de distribución normal de la demanda horaria para cada tipo de usuario. Para ello fue necesario determinar la media y la desviación estándar de la demanda de las 8 760 horas simuladas.

La Figura 23 representa la curva de la distribución normal y la Tabla 3 presenta los valores medios (μ) y de desviación estándar (σ) de la demanda horaria para cada tipo de usuario.

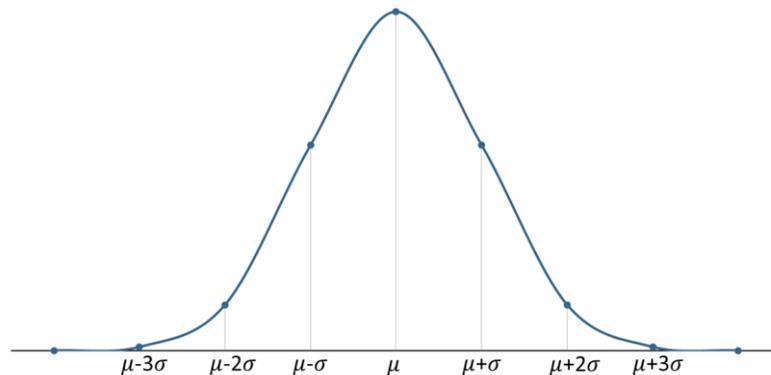


Figura 23. Simulación perfil educación – venta de excedentes

Tabla 3. Valores medios de demanda horaria por tipo de perfil.

Perfil	Residencial	Comercial	Educación
Demanda horaria media (μ) [kW]	0,6041	1,1233	3,1969
Desviación estándar (σ) [kW]	0,3114	0,7914	3,2996

En el Anexo 4 – Simulaciones (ver archivo de Excel) en las hojas “Sim. R. Auto.”, “Sim. R. Venta”, “Sim. C. Auto.”, “Sim. C. Venta”, “Sim. E. Auto.”, “Sim. E. Venta”, se presentan las simulaciones en donde para cada uno de estos se determinó: demanda (E_{user}), potencia nominal del sistema FV (P_N), energía inyectada (E_{iny}) y energía tomada de la red (E_{red}). La Tabla 4 resume los resultados de una iteración de la simulación de Montecarlo al aplicar la metodología planteada en la sección 8.

Tabla 4. Simulación de Montecarlo.

Perfil Escenario	Residencial		Comercial		Educación	
	Autoconsumo	Venta de Excedentes	Autoconsumo	Venta de Excedentes	Autoconsumo	Venta de Excedentes
Total, usuarios simulados	40	40	50	50	15	15
Potencia Nominal Total P _N (kWp)	138,8	118,7	315,7	315,6	269,4	262,5
Ingreso Total por venta de excedentes (\$COP)	-	12.093.599	-	90.399.825	-	55.822.099
Ingreso o ahorro Total en facturación (\$COP)	25.358.422	33.944.667	159.213.806	241.650.263	127.715.002	241.108.307
CAPEX Proyecto COP Total	654.228.831	559.594.976	1.488.558.876	1.487.987.506	1.270.356.431	1.237.536.771

Análisis financiero

Tomando como base los resultados de la primera iteración representados en la Tabla 4, se procedió a crear los flujos de caja. En el Anexo 4 – Simulaciones (ver archivo de Excel) en las hojas “Flujo R. Auto.”, “Flujo R. Venta”, “Flujo C. Auto.”, “Flujo C. Venta”, “Flujo E. Auto.” y “Flujo E. Venta”, se presentan la estructura, desarrollo y resultados del valor presente neto y de la tasa interna de retorno (TIR) obtenidos para cada caso de estudio.

La Tabla 5 enmarca los supuestos que se consideraron para el desarrollo del análisis financiero, estructurados con base en el caso de estudio de trabajo realizado por René et al. (2019), en el cual se plantea el modelo financiero de un sistema de autogeneración en el departamento del Meta; y al trabajo de Haghghat Mamaghani et al. (2016) en donde se analiza la viabilidad técnica y económica de la implantación de sistemas FV en Colombia.

Tabla 5. Supuestos de la simulación financiera

Tasa crecimiento demanda	0,16%
Tasa crecimiento tarifa	3,61%
Degradación Energía	0,01%
Tasa de Interés	10,00%

La hoja “Resumen Simulaciones” del Anexo 4 – Simulaciones (ver archivo de Excel) presenta el promedio del valor presente neto y la tasa interna de retorno (TIR) para un total de 1.000 iteraciones (ver Tabla 6).

Tabla 6. Simulación financiera – 1.000 iteraciones.

Curva Utilizada	Perfil Residencial		Perfil Comercial		Perfil Educación	
	Autoconsumo	Venta de Excedentes	Autoconsumo	Venta de Excedentes	Autoconsumo	Venta de Excedentes
Valor presente Neto	(292.714.135)	(263.308.046)	368.128.278	292.794.592	1.019.695.097	1.076.603.954
Desviación estándar	18.544.903	19.925.070	57.649.313	381.111.514	125.586.618	131.439.661
TIR	2,98%	3,79%	13,09%	12,55%	19,33%	19,32%

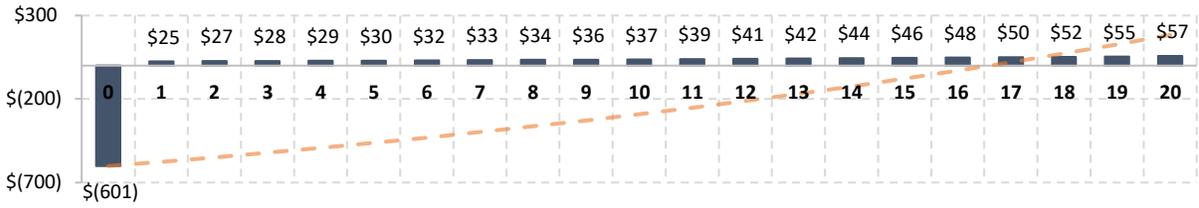
Es importante resaltar que los resultados de la simulación presentado en la Tabla 6, corresponden a un escenario en el que:

- El usuario paga a la compañía durante 20 años el 100% del valor del ahorro. Es decir, durante este tiempo no habrá ahorro asociado en la facturación total de energía para el usuario.
- Como beneficio el CAPEX asociado al proyecto lo asume en su totalidad la compañía.
- Al cumplirse los 20 años, el usuario será dueño del sistema FV y del 100% de ahorro generado. En promedio la vida útil de un panel FV es de 30 a 35 años.
- Como beneficio adicional el usuario podrá acceder a los beneficios tributarios que otorga la Ley. No. 1715 de 2014, 2014.

Las gráficas presentadas en la Figura 24 representan el comportamiento del flujo de caja neto (barras azules) y el flujo de caja neto acumulado (línea punteada naranja). Al analizar el punto de equilibrio para cada modelo planteado, se evidencia una clara diferencia entre el perfil residencial y los perfiles comercial y de educación. Mientras el primer perfil alcanza el equilibrio entre los periodos 16 y 17, los segundos rondan por periodos 8 y 7, respectivamente.

Figura 24. Simulación perfil residencial – venta de excedentes

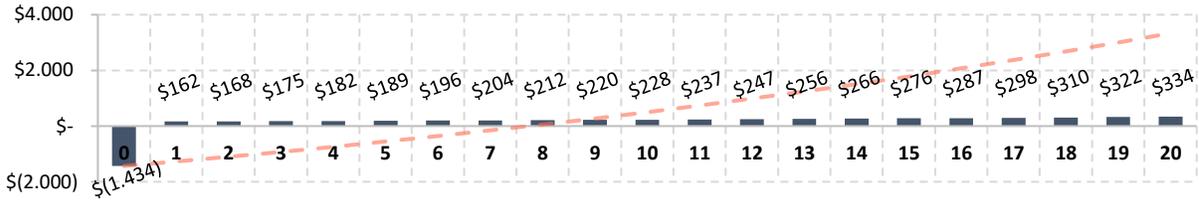
Residencial Auto



Residencial Venta



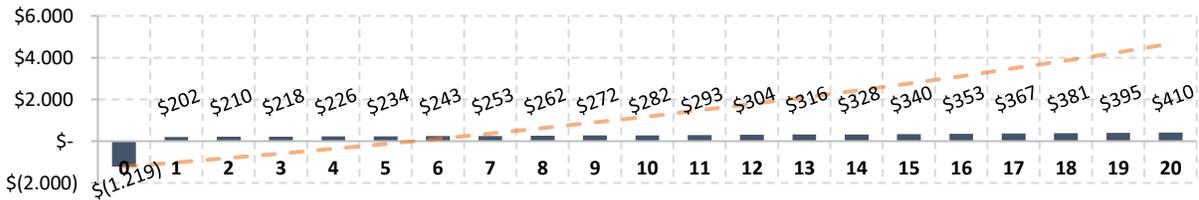
Comercial Auto



Comercial Venta



Educación Auto



Educación Venta



Con el fin de hacer más atractiva la propuesta de valor se planteó un modelo de negociación con el usuario final, en el que este puede percibir un porcentaje del ahorro total.

Se simuló el comportamiento de la tasa interna de retorno (TIR) con base a la variación del porcentaje del ahorro que toma la compañía. Esto con el fin de determinar el ahorro mínimo viable que debe tomar la compañía para garantizar rentabilidad. Dicha simulación se representa en la gráfica de la Figura 25.

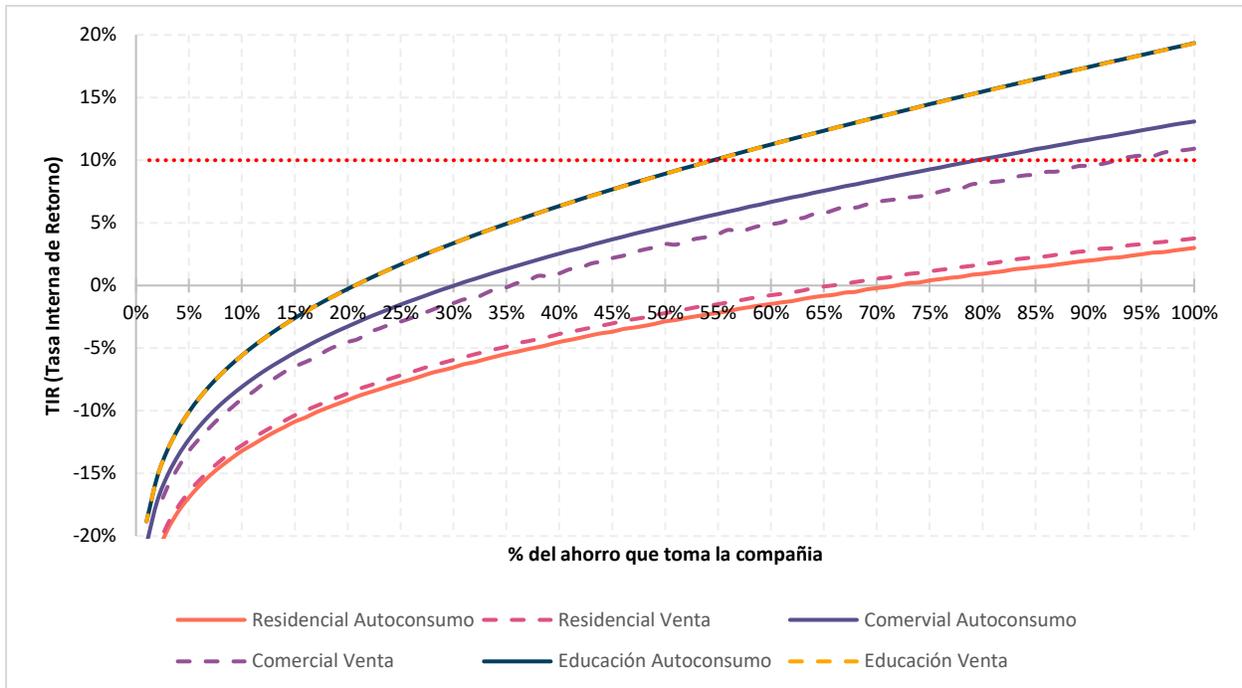


Figura 25. Comportamiento de la TIR vs. La variación del % del ahorro que toma la compañía.

Como premisa para el análisis de viabilidad se estableció una tasa interna de retorno (TIR) mínima del 10%, ya que al consultar con expertos inversionistas, valores de TIR inferiores al 10% no son atractivos y compiten con productos de bajo riesgo como los CDT's en los bancos.

Teniendo en cuenta lo anterior, el segmento residencial no resulta atractivo para el modelo propuesto en este trabajo, debido a que la tasa interna de retorno (TIR) está muy alejada del mínimo viable.

Respecto al escenario de autoconsumo para el segmento comercial, se podría ofrecer al usuario final hasta un 20% del total del ahorro. Sin embargo, el escenario de venta de excedentes para el mismo segmento presenta un porcentaje bajo de negociación por el orden del 7% del ahorro al usuario.

Finalmente, el segmento que permite mayor rango de negociación es el de educación. Tanto en el escenario de autoconsumo, como en el de venta de excedentes, que permite ofrecer hasta el 45% de los ahorros al usuario final, haciéndolo así el más atractivo de los segmentos.

13. Conclusiones

- Considerando la ubicación geográfica, la radiación solar promedio (4,0 a 4,5 kWh/m²) y las condiciones de brillo solar diarias (5 a 6 horas), la ciudad de Montería representa una de las mejores zonas en el país para la implementación de proyectos FV. La creciente economía, los índices de crecimiento en los segmentos como el residencial, comercial y educativo, apalancados por la política, visión y plan de acción para los próximos años, crean un escenario ideal para la inversión en proyectos de generación de energía FV.
- Considerando el estudio del CAPEX realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2018), los costos de capital en los departamentos de Córdoba y Sucre se ubican entre los más bajos del país para la implementación de proyectos FV.
- Se lograron identificar los segmentos con potencia para la implementación de proyectos de generación FV en la ciudad de Montería y las principales barreras asociadas a la adopción de este tipo de tecnologías para cada uno de ellos:
 - Segmento residencial:

Este segmento no se encuentra asociado a una actividad económica en la que el ahorro energético impacte directamente sobre la operación de dicha actividad, por tanto, la adopción de los sistemas FV se ve limitada a garantizar un ahorro inmediato que se refleje en los costos mensuales de energía. Adicionalmente, el desconocimiento respecto a este tipo de proyectos, tanto en los aspectos tecnológicos como financieros, generan incertidumbre en el usuario final. A esto se suma la escasa disponibilidad de área aprovechable para la instalación de paneles FV.
 - Segmento comercial:

Si bien la cantidad de usuarios comerciales en la ciudad de Montería es alta, existe un alto índice de informalidad, en el que la barrera principal está representada por el CAPEX. La viabilidad del proyecto está en búsqueda del comercio especializado, en el cual la adopción se ve limitada por el conocimiento financiero.
 - Segmento educación:

Uno de los mayores atractivos de este segmento es el alto nivel de demanda energética y la gran disponibilidad de área. Sin embargo, dicha ventaja se ve reflejada en altos costos de capital.

- Las simulaciones realizadas arrojaron resultados diferentes respecto a qué modelo de negocio (DO – TPO) se ajusta más a las necesidades de cada segmento. En el caso del segmento Residencial, tanto el modelo de autoconsumo como el de venta de excedentes presentan niveles de retorno muy bajos, especialmente, para el modelo de venta de excedentes se observa que el precio de bolsa no logra cubrir el sobre dimensionamiento del sistema.
- Al comparar los resultados de la evaluación financiera de los segmentos residencial y educación, se puede concluir que el modelo de venta de excedentes es viable cuando el sobredimensionamiento del sistema es igual o superior al 30% de la demanda energética del usuario.
- Considerando un modelo financiero con retorno a la inversión (TIR) mínimo del 10% de los ahorros generados por la implementación del sistema FV en los diferentes segmentos, se determinó que el segmento residencial no representa un punto focal de interés para este tipo de modelos. Los ahorros generados para este caso en autoconsumo y venta de excedentes están por debajo de la línea base establecida. Adicionalmente, debido a la naturaleza del usuario de este segmento, alcanzar un punto de equilibrio entre el periodo 16 o 17 no genera ningún atractivo, pues como se mencionó antes, este tiempo de usuario busca percibir un ahorro inmediato.
- El análisis financiero permitió determinar que los modelos comerciales con autoconsumo, educación con autoconsumo y venta de excedentes, son los que presentan mayor atractivo debido a tasa de retorno y a posibilidad de generar mayores niveles de ahorro al usuario final. Sin embargo, no se descarta el modelo comercial con venta de excedentes para el caso en el que usuario final no tenga como prioridad ver un ahorro inmediato, sino a mediano plazo, además del acceso a los beneficios tributarios a los que puede acceder.

- Este trabajo analizó la viabilidad financiera de forma individual para cada uno de los casos propuestos. Como objetivo futuro se busca analizar portafolios mixtos de clientes con el fin de incrementar la adopción en los clientes con mayores barreras como lo es el residencial.
- Este trabajo representa un punto de partida para el desarrollo de proyectos futuros ya que permitió determinar los segmentos de mercado que cuentan potencial para la implementación de sistemas FV en la ciudad de Montería, y los usuarios con mayor potencial para la adopción de modelos de arrendamiento de sistemas FV (TPO). Como trabajos futuros se plantea el perfeccionamiento del modelo de simulación mediante la inclusión del análisis de sensibilidad y la simulación financiera de grupos de clientes mixtos.

Referencias

- AGRONEGOCIOS. (2019). *LOS PROBLEMAS BUROCRÁTICOS QUE SE HAN GENERADO CON LA APLICACIÓN DE ENERGÍA SOLAR*. <https://www.agronegocios.co/tecnologia/los-problemas-burocraticos-que-se-han-generado-con-la-aplicacion-de-energia-solar-2848036>
- Ahlgren Ode, K., & Lagerstedt Wadin, J. (2019). Business model translation—The case of spreading a business model for solar energy. *Renewable Energy*, 133, 23–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.036>
- Alcaldía de Montería, Concejo de Montería, & Concejo Nacional de Planeación del Municipio de Montería. (2020). *Bases del Plan de Desarrollo de Montería “Gobierno de la Gente” 2020- 2023*. 5–78. http://ieu.unal.edu.co/images/Planes_de_Desarrollo_2020/Base_plan_de_Desarrollo_Monteria.pdf
- António Guterres. (2020, December 11). *Neutralidad en carbono para 2050: la misión mundial más urgente*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sg/es/content/sg/articles/2020-12-11/carbon-neutrality-2050-the-world%E2%80%99s-most-urgent-mission>
- Burger, S. P., & Luke, M. (2017). Business models for distributed energy resources: A review and empirical analysis. *Energy Policy*, 109, 230–248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.007>
- Castaño-Gómez, M., & García-Rendón, J. J. (2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. *Lecturas De Economía*, 23, 23–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.17533/udea.le.n93a338727>
- RESOLUCIÓN 030 DE 2018, Pub. L. No. Colombia (2018).
- Consejo Privado de Competitividad. (2019). *Índice de Competitividad 2019*.
- CONSEJO PRIVADO DE COMPETITIVIDAD & UNIVERSIDAD DEL ROSARIO. (2020). *ÍNDICE DE COMPETITIVIDAD DE CIUDADES*.
- RESOLUCIÓN No. 183, Pub. L. No. RESOLUCIÓN No. 183, Por la cual se adoptan reglas relativas al cambio (2019). <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/1537b9d298788e2b0525785a007a7218>

- CREG. (2021). *Perfil de Usuario: Ciudadano*. OCTUBRE 11 / 2021.
<https://www.creg.gov.co/taxonomy/term/1854>
- Curtius, H. C. (2018). The adoption of building-integrated photovoltaics: barriers and facilitators. *Renewable Energy*, 126, 783–790. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.001>
- DANE. (2021). *La información del DANE en la toma de decisiones regionales*.
- ECKHART GOURAS. (2022, April 21). Colombia expone la situación de la energía solar en la Cumbre del BNEF. *PV Magazine*. <https://www.pv-magazine-latam.com/2022/04/21/colombia-expone-la-situacion-de-la-energia-solar-en-la-cumbre-del-bnef/>
- Enerdata. (2021). *Cuota de energías renovables en la producción de electricidad*.
<https://datos.enerdata.net/energias-renovables/produccion-electricidad-renovable.html>
- European Environment Agency. (2022, March 4). *Share of energy consumption from renewable sources in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/ims/share-of-energy-consumption-from>
- Eurostat Statistics Explained. (2017, March 7). *Energy from renewable sources*.
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Energy_from_renewable_sources&oldid=329540
- Gholami, H., Røstvik, H. N., & Müller-Eie, D. (2019). Holistic economic analysis of building integrated photovoltaics (BIPV) system: Case studies evaluation. *Energy and Buildings*, 203, 109461.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109461>
- Haghighat Mamaghani, A., Avella Escandon, S. A., Najafi, B., Shirazi, A., & Rinaldi, F. (2016). Techno-economic feasibility of photovoltaic, wind, diesel and hybrid electrification systems for off-grid rural electrification in Colombia. *Renewable Energy*, 97, 293–305.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.086>
- Horváth, D., & Szabó, R. Zs. (2018). Evolution of photovoltaic business models: Overcoming the main barriers of distributed energy deployment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 623–635.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.101>

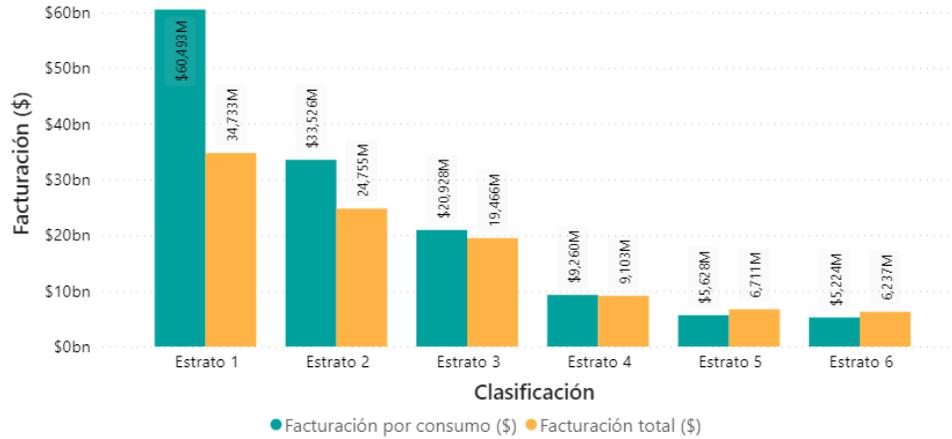
- Kotler, P. (2001). *ANÁLISIS, PLANEACIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y CONTROL* (Jorge Bossio, E. Delgado, A. M. Mory, R. Pretell, J. Román, & M. Santander, Eds.; 8th ed., Vol. 8). ESAN.
- López, A. R., Krumm, A., Schattenhofer, L., Burandt, T., Montoya, F. C., Oberländer, N., & Oei, P. Y. (2020). Solar PV generation in Colombia - A qualitative and quantitative approach to analyze the potential of solar energy market. *Renewable Energy*, *148*, 1266–1279. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.066>
- Lu, Y., Chang, R., & Lim, S. (2018). Crowdfunding for solar photovoltaics development: A review and forecast. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *93*(July 2017), 439–450. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.049>
- Maheshwari, H., & Jain, K. (2017). Financial viability of solar photovoltaic system: A case study. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, *8*(11), 180–190.
- Ley. No. 1715 de 2014, MINISTRO DE MINAS Y ENERGÍA (2014). http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf
- Minminas. (2020). *Energías renovables no convencionales: Energías Renovables No Convencionales y Cambio Climático: Un Análisis Para Colombia*. <https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>
- Osterwalder, A. (2012). The Value Proposition Canvas. *BusinessModelGeneration*, 1.
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). Generacion De Modelos De Negocio. *Deusto S.a. Ediciones*, 288.
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., Smith, A., & Movement, T. (2010). *Business Model Generation A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers* (Tim Clark, Ed.; 2010th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Radomes, A. A., & Arango, S. (2015). Renewable energy technology diffusion: an analysis of photovoltaic-system support schemes in Medellín, Colombia. *Journal of Cleaner Production*, *92*, 152–161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.090>
- René, J., Tatiana, A., Mosos, P., Andrés, C., Aguilera, B., López, C., Sebastián, J., & Chávez, R. (2019). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN FV CINEMA MULTIPLEX VILLACENTRO-65KW AC*.

- Revista Semana. (2022). "Altas tarifas de energía nos vuelven menos competitivos": alcalde de Riohacha. *Revista Semana*. <https://www.semana.com/nacion/articulo/altas-tarifas-de-energia-nos-vuelven-menos-competitivos-alcalde-de-riohacha/202239/>
- Sarmiento, J. A. (2020). *Top 5: Proyectos exitosos de energía solar en Colombia*. La Guia Solar. <http://www.laguiasolar.com/top-5-proyectos-exitosos-de-energia-solar-en-colombia/>
- Shukla, A. K., Sudhakar, K., Baredar, P., & Mamat, R. (2018). Solar PV and BIPV system: Barrier, challenges and policy recommendation in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(August 2017), 3314–3322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.013>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2021). *SUI*. <http://www.sui.gov.co/web/>
- UPME. (2018). Plan de expansión de referencia generación -transmisión 2017 - 2031. In *Ministerio de Minas y Energía*. [http://www1.upme.gov.co/Documents/Energia Electrica/Plan_GT_2017_2031_PREL.pdf](http://www1.upme.gov.co/Documents/Energia%20Electrica/Plan_GT_2017_2031_PREL.pdf)
- Valentin Software GmbH. (2021). *PV*SOL* (No. R8). <https://valentin-software.com/>
- Valora Analitik. (2022). En 2021, Colombia reportó su PIB más alto en registros del Dane: fue del 10,6 %. *Valora Analitik*. <https://www.valoraanalitik.com/2022/02/15/2021-colombia-reporto-pib-mas-alto-registros-dane/>
- XM. (2022, June). *Portal de Indicadores: Precio de bolsa y escasez*. <https://www.xm.com.co/portal-de-indicadores>
- Zhang, C., Campana, P. E., Yang, J., & Yan, J. (2016). Analysis of Distributed Photovoltaic Financing: A Case Study Approach of Crowd-funding with Photovoltaic Water Pumping System in Microgrids. *Energy Procedia*, 103, 387–393. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.304>
- RESOLUCIÓN No. 174 DE 2021, 174 (2021).
- SOLSTA. (n.d.). *¿Cuáles estándares de disponibilidad hay según la CREG 030?*
- SOLSTA. (2021, October). *¿Cómo se remunera a los GD y AGPE? - CREG 174.*

Anexo 1 – Mercado del servicio eléctrico en la ciudad de Montería

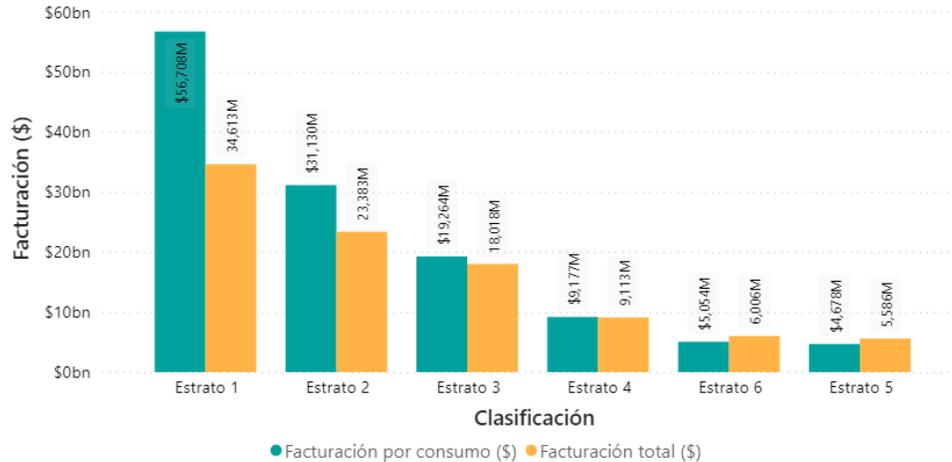
Evolución de la facturación total y facturación por consumo del servicio de energía eléctrica en el segmento residencial en la ciudad de Montería para el periodo 2016 -2020:

Facturación Total Energía Eléctrica Montería 2016



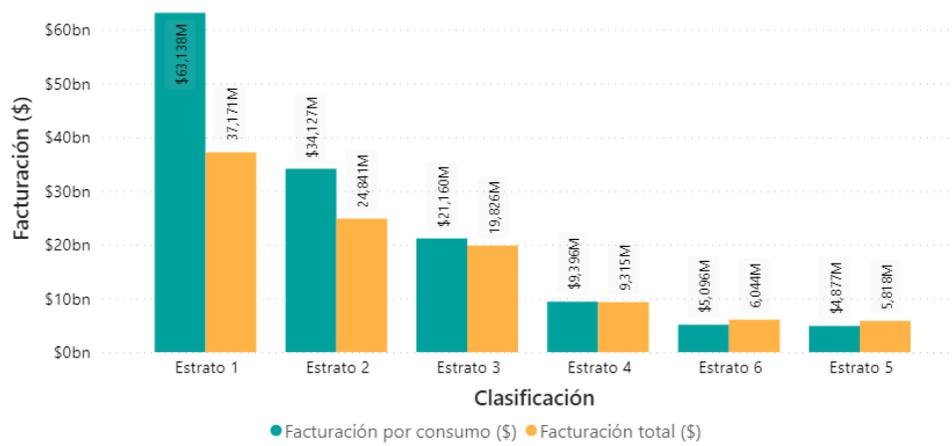
Anexo 1 - Figura 1 Facturación servicio de energía eléctrica segmento residencial ciudad de Montería 2016.

Facturación Total Energía Eléctrica Montería 2017



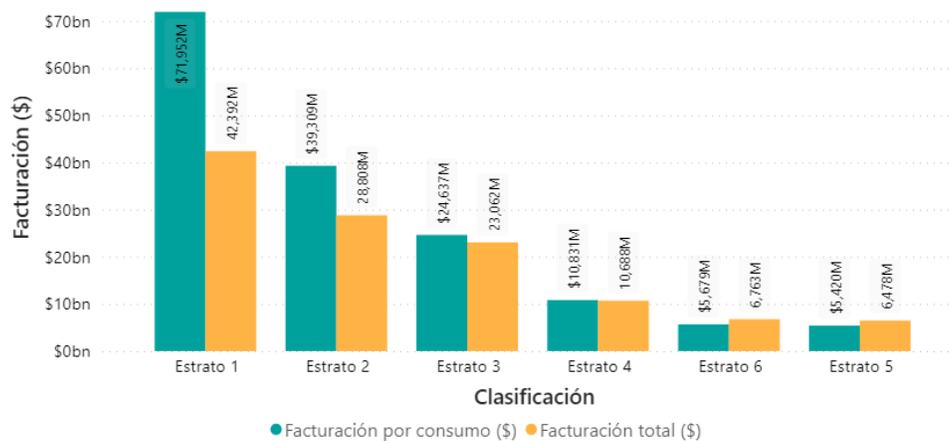
Anexo 1 - Figura 2 Facturación servicio de energía eléctrica segmento residencial ciudad de Montería 2017.

Facturación Total Energía Eléctrica Montería 2018



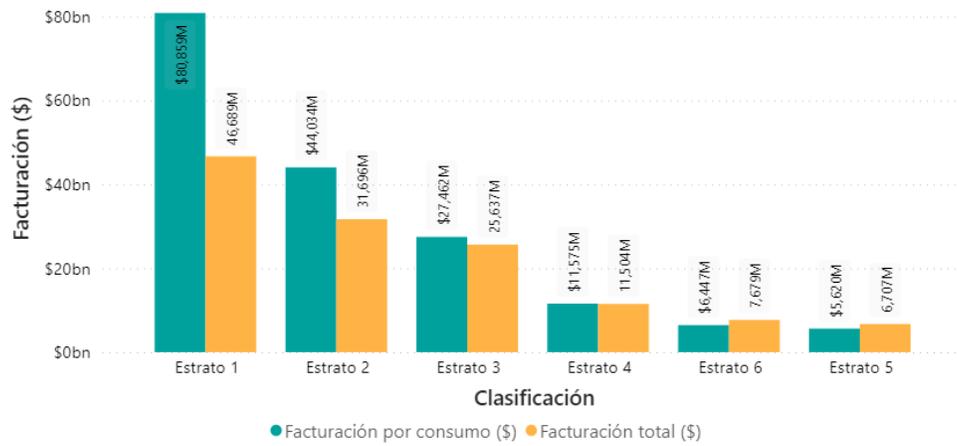
Anexo 1 - Figura 3 Facturación servicio de energía eléctrica segmento residencial ciudad de Montería 2018.

Facturación Total Energía Eléctrica Montería 2019



Anexo 1 - Figura 4 Facturación servicio de energía eléctrica segmento residencial ciudad de Montería 2019.

Facturación Total Energía Eléctrica Montería 2020



Anexo 1 - Figura 5 Facturación servicio de energía eléctrica segmento residencial ciudad de Montería 2020.

Evolución de la facturación total y facturación por consumo del servicio de energía eléctrica en el segmento comercial en la ciudad de Montería para el periodo 2016 -2020:

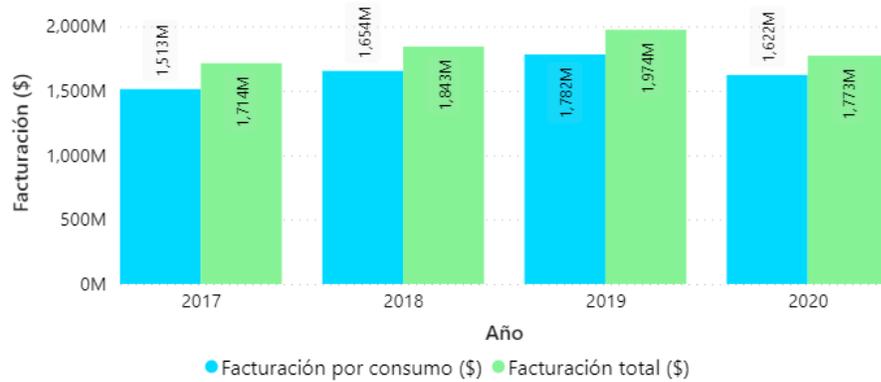
Facturación Energía Eléctrica Segmento Comercial Montería



Anexo 1 - Figura 6 Facturación servicio de energía eléctrica segmento comercial ciudad de Montería 2016 - 2020.

Evolución de la facturación total y facturación por consumo del servicio de energía eléctrica en el segmento industrial en la ciudad de Montería para el periodo 2016 -2020:

Facturación Energía Eléctrica Segmento Industrial Montería



Anexo 1 - Figura 8 Facturación servicio de energía eléctrica segmento industrial ciudad de Montería 2016 - 2020.

Evolución de la facturación total y facturación por consumo del servicio de energía eléctrica en el segmento industrial en la ciudad de Montería para el periodo 2016 -2020:

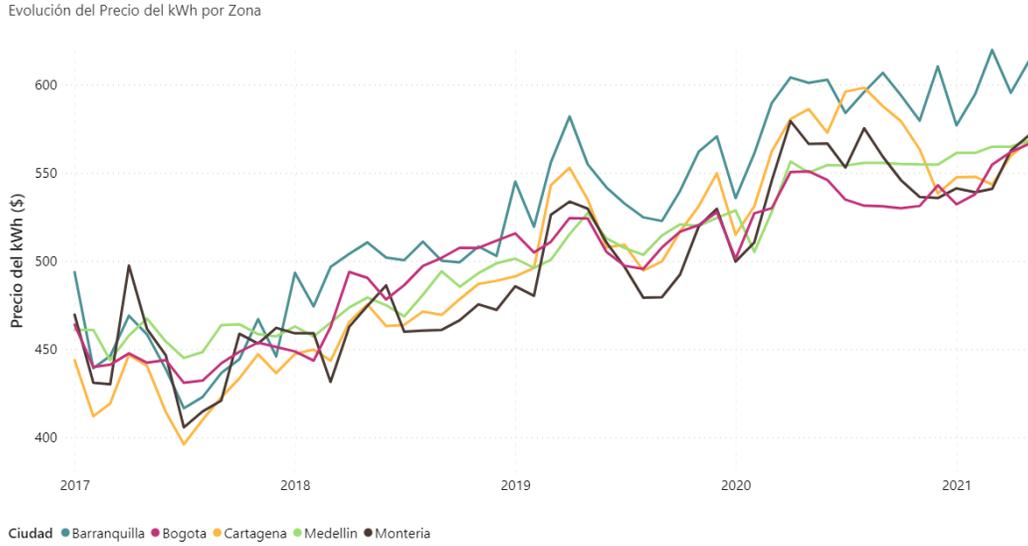
Facturación Energía Eléctrica Segmento Educación Montería



Anexo 1 - Figura 9 Facturación servicio de energía eléctrica segmento educación ciudad de Montería 2016 - 2020.

Anexo 2 – Evolución del Precio del kWh

Evolución del precio de facturación a usuarios regulados del nivel de tensión para el periodo 2016-2020 para las principales ciudades de Colombia:



Anexo 2 - Figura 1 Evolución del precio del kWh para usuarios regulados pertenecientes al nivel de tensión 1 en Colombia.

Anexo 3 – Demanda de energía eléctrica ciudad de Montería

Demanda de energía eléctrica en kWh para los sectores residencial, comercial y educativo durante el año 2019, para los usuarios que hacen parte de la Red Interconectada de Colombia y se encuentran dentro del Nivel 1 de tensión.

DEMANDA ENERGÉTICA (KWH) EN MONTERÍA 2019

MES	Sector Residencial	Sector Comercial	Sector Educación
ENERO	3.531.124	6.066.915	41.737
FEBRERO	3.373.934	7.562.453	188.478
MARZO	3.593.934	8.405.961	376.160
ABRIL	3.562.423	7.768.605	473.916
MAYO	3.687.832	8.129.229	404.460
JUNIO	3.405.679	7.637.135	411.160
JULIO	3.836.225	7.788.652	390.930
AGOSTO	3.830.625	8.180.918	318.164
SEPTIEMBRE	3.893.892	8.234.169	463.128
OCTUBRE	3.409.968	7.897.331	449.675
NOVIEMBRE	3.307.221	7.722.220	407.900
DICIEMBRE			
	3.653.509	8.213.627	408.044

Anexo 3 – Tabla 1 Demanda Energética (kWh) en Montería 2019

Anexo 4 – Simulaciones

Ver simulaciones en el archivo de Excel.

Enlace de descarga: <https://1drv.ms/x/s!AlEaXv6bLnG8gvhKwfazX6lqllegPXw?e=FxWf5f>

Contraseña: MGI2022