



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Evaluación De Costo – Beneficio De La Implementación De Un Sistema De Generación Solar Fotovoltaico En El Archipiélago De San Andrés, Providencia Y Santa Catalina.**

**Radley Philippe Huffington Salas**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Bogotá,  
Bogotá D.C., Colombia

2024

# **Evaluación De Costo – Beneficio De La Implementación De Un Sistema De Generación Solar Fotovoltaico En El Archipiélago De San Andrés, Providencia Y Santa Catalina**

Tesis de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ingeniería eléctrica**

Presentado por:

**Radley Philippe Huffington Salas**

Director (a):

**Ph.D. Javier Albeiro Rosero García**

Línea de Investigación:

**Maestría en Ingeniería Eléctrica – Investigación**

Grupo de Investigación:

**Eléctrica Machines & Drives – EM&D**

**Universidad Nacional de Colombia**

**Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Bogotá,  
Bogotá D.C., Colombia**

**2024**

**Dedicatoria**

A mi madre Numidia Salas a mi padre Ridley Huffington y a mi esposa Karen Doria

## **Declaración de obra original**

Yo Radley Philippe Huffington Salas, declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

**Radley Philippe Huffington Salas**

**Fecha 25/01/2024**

## Agradecimientos

Quiero darle las gracias primeramente a Dios, por su gracia, poder y misericordia en el transcurrir de mi carrera profesional, por darme la oportunidad de hacer realidad este sueño de cursar una maestría universitaria. A él sea dada toda la gloria, sabiendo que sin su ayuda nada hubiese sido posible.

A mi familia, principalmente a mi madre Numidia Salas Blanco y a mi esposa Karen Doria Carrillo, gracias por ser mi apoyo incondicional, por luchar junto a mi en cada momento de adversidad, por disfrutar con alegría todos mis triunfos. Gracias por darme la mano, tener palabras de aliento cuando fueron necesarias, tener la paciencia de sobrellevarme, por eso y mucho más de lo que puedo expresar con palabras.

Gracias a nuestro director Javier Albeiro Rosero, por aportar sus conocimientos, tiempo y esfuerzos para la realización de este proyecto y, por sembrar la semilla investigativa en mi vida académica.

Infinitas gracias, mis compañeros en especial a Billi Gomez, Roger Serna, Keyla Newball Aide Urrego, Fredy Sierra, Jhon Henry y Yilia Davis, por ser más que compañeros de clases, amigos incondicionales que han hecho parte de este proceso de formación académica y personal, aportando siempre lo mejor de cada uno.

A todos nuestros profesores, por dar lo mejor de sus conocimientos en cada clase durante toda esta etapa educativa, conocimientos de suma importancia que fueron aplicados para el desarrollo exitoso del proyecto.

A la empresa EEDAS S.A. E.S.P., por brindarme el espacio de hacer este sueño realidad

## Resumen

### **Evaluación De Costo – Beneficio De La Implementación De Un Sistema De Generación Solar Fotovoltaico En El Archipiélago De San Andrés, Providencia Y Santa Catalina**

Los estudios sobre la energía fotovoltaica la postulan como una alternativa válida desde el punto de vista social, económico y ambiental para alcanzar un desarrollo sostenible, en las regiones no interconectadas como lo es el Archipiélago de San Andrés Providencia y Santa Catalina; además, es una gran oportunidad para diversificar la matriz energética dentro del Departamento, la cual es 99% basada en fósiles (DIESEL), escenario que lleva a la necesidad de apropiar subsidios por menores tarifas del orden de más de \$100 mil millones / año.

Esto se maximiza teniendo en cuenta el escenario legal de la Ley 1715 del 2014 y colocando a San Andrés islas en un potencial generador de energía, dadas las condiciones de su ubicación geográfica y entorno natural favorecen que a futuro la energía consumida sea de origen renovable sin embargo, existen limitaciones para su estudio e implementación, por lo que se considera que uno de los principales factores que explica esta situación es el hecho de que las decisiones de inversión se basan en criterios como los precios de mercado nacional, pues en efecto se argumenta que son costosos centrando todo el análisis en variables económicas y se desconocen los beneficios ambientales y sociales derivados de la utilización de la energía solar.

Considerando lo anterior, este documento presenta los resultados de un ejercicio investigativo orientado al análisis de la relación beneficio-costos en la implementación de un sistema fotovoltaico complementario, comparando los tipos de sistemas aislado e interconectado. A partir de datos de consumo energético y cantidad de radiación solar, así como la evaluación de los impactos ambientales asociados a cada sistema y de indicadores financieros, se evaluó la factibilidad de su implementación.

X                      Evaluación De Costo – Beneficio De La Implementación De Un Sistema De Generación Solar Fotovoltaico En El Archipiélago De San Andrés, Providencia Y Santa Catalina.

---

En los resultados se construyó una proyección del tiempo de retorno de la inversión, considerando beneficios financieros, socioeconómicos y ambientales, aplicando el análisis beneficio/costo. Para ello, se estudió la información técnica y económica de los componentes de tipos de sistema solar fotovoltaico aislado e interconectado, evidenciando en cada uno los beneficios financieros de la implementación del sistema. Adicionalmente, por medio de una matriz de impacto ambiental se evaluarán los beneficios ambientales que genera esta clase de energía y se pretende que el estudio realizado se constituya en una herramienta útil para la toma de decisiones relacionadas con la puesta en marcha de energía solar, debido a que genera una reducción en costos de consumo de energía eléctrica, la optimización de sus estrategias de gestión ambiental y la coherencia con sus objetivos misionales.

Palabras Claves: Fuente de energía renovable, desarrollo sostenible, beneficio/costo, fotovoltaica

## Abstract

### **Cost-Benefit Evaluation of the Implementation of a Photovoltaic Solar Generation System in the Archipelago of San Andrés, Providencia and Santa Catalina.**

The studies on the photovoltaic energy postulate it like a valid alternative from the social, economic, and environmental point of view to reach a sustainable development, in the not interconnected regions like it is the Archipelago de San Andrés Providencia y Santa Catalina were the matrix relies 99% in fossil fuels (DIESEL) and have an 50% subsidy directed to the final user with an annual projection above of COP\$100 thousand million.

In addition, it is a great opportunity to diversify the sources of generation. This added to the legal scenario of Law 1715 of 2014 and placing San Andres island in a potential generator of energy, given the conditions of its geographical location and natural environment favor that in the future the energy consumed be of renewable origin; however, there are limitations to its study and implementation, so it is considered that one of the main factors that explains this situation is the fact that investment decisions are based on criteria such as national average market prices, as in effect it is argued which are expensive and the environmental and social benefits derived from the use of solar energy are unknown.

In the results a projection of the time of return of the investment was built, considering the socioeconomic and environmental benefits, applying the benefit / cost analysis. For this, the technical and economic information of the components of the isolated and interconnected solar photovoltaic system types was studied, evidencing in each the financial benefits of the implementation of the system. In addition, through the environmental impact matrix, the environmental benefits generated by this energy class were evaluated and the study is intended to be a useful tool for making decisions related to the start-up of energy., because it is a reduction in the costs of electricity consumption, the optimization of environmental management strategies and coherence with their mission objectives.

Keywords: Source of renewable energy, sustainable development, benefit / cost, photovoltaic.



# Contenido

Pág.

<b>Resumen.....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de Gráficas .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de Tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de Abreviaturas.....</b>	<b>XV</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Contexto General .....</b>	<b>5</b>
<u>1.1 La Importancia de la Energía Fotovoltaica en el Marco de la Renovabilidad y la Eficiencia Energética.....</u>	11
<u>1.2. Renovabilidad y Sostenibilidad Ambiental .....</u>	11
<u>1.3 Eficiencia Energética.....</u>	11
<u>1.4 Contexto Específico de San Andrés .....</u>	12
<b>2. Estado Del Arte .....</b>	<b>13</b>
<b>3. Marco Teórico .....</b>	<b>21</b>
<u>3.1 Marco Legal .....</u>	34
<b>4. Metodología Para El Análisis Costo – Beneficio. ....</b>	<b>37</b>
<b>5. Aplicación de la metodología para el análisis costo – beneficio.....</b>	<b>42</b>
<u>5.1 Estratos 1 y 2 .....</u>	42
<u>5.2 Estratos 6. ....</u>	50
<u>5.3 Comercial.....</u>	58
<u>5.4 Oficiales.....</u>	66
<b>6. Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>74</b>
<u>6.1 Conclusiones.....</u>	74
<u>6.2 Recomendaciones.....</u>	77
<b>Bibliografía .....</b>	<b>79</b>

## Lista de Gráficas

Pág.

<b>Grafica 1. lineamientos para realizar un análisis costos beneficio de Smart Grid ..</b>	<b>14</b>
<b>Grafica 2. Metodología de evaluación costo beneficio – beneficio .....</b>	<b>25</b>
<b>Grafica 3. Metodología costo - beneficio aplicable .....</b>	<b>37</b>
<b>Grafica 4. Consumo estratos 1 y 2 .....</b>	<b>43</b>
<b>Grafica 5. Generación solar Vs consumo estrato 1 y 2 .....</b>	<b>44</b>
<b>Grafica 6. Consumo estrato 6 .....</b>	<b>50</b>
<b>Grafica 7. Generación solar Vs estrato 6 .....</b>	<b>52</b>
<b>Grafica 8. Consumo comercial .....</b>	<b>59</b>
<b>Grafica 9. Consumo Vs Generación Solar .....</b>	<b>60</b>
<b>Grafica 10. Consumo promedio oficiales .....</b>	<b>66</b>
<b>Grafica 11. Consumo Vs Generación Solar .....</b>	<b>67</b>

## Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Metodologías de impactos ambientales.....	17
Tabla 2. Barreras en la aplicación de sistemas solares fotovoltaicos .....	25
Tabla 3. Metodología de Leopold.....	28
Tabla 4. Atributos de la metodología cualitativa .....	29
Tabla 5. Escala de interpretación para la metodología cualitativa .....	30
Tabla 6. Listado De Factores Ambientales Y Sociales .....	30
Tabla 7. Unidades De Medida Parámetros Ambientales.....	34
Tabla 8. Clasificación De Usuarios .....	38
Tabla 9. Factores Y Parámetros Ambientales .....	39
Tabla 10. Ponderado Para Parámetros Ambientales .....	41
Tabla 11. Costos SSFV para usuarios 1 y 2 .....	44
Tabla 12. Factores Ambientales.....	46
Tabla 13. Costos SSFV para usuarios 6 .....	53
Tabla 14. Factores ambientales. ....	54
Tabla 15. Costos SSFV para usuarios comerciales.....	60
Tabla 16. Factores ambientales .....	62
Tabla 17. Costos SSFV para usuarios comerciales.....	68
Tabla 18. Factores ambientales .....	69
Tabla 19. Balance económico .....	74
Tabla 20. Balance Anual Costos Vs Beneficios Usuarios .....	75
Tabla 21. Balance Anual costo Vs Beneficio Nación.....	75

## Lista de Abreviaturas

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
IEA	International Energy Agency
DNP	Departamento Nacional de Planeación
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
FNCER	Fuentes no Convencionales de Energía Renovable
VPN	Valor Presente Neto
EPRI	Electric Power Research Institute
RCB	Relación Costo-Beneficio
TIR	Tasa Interna de Retorno
FV	Foto Voltaico
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables
PROURE	Programa de Uso Racional y Eficiente de la energía y demás Formas de Energía No Convencionales
MME	Ministerio de Minas y Energía
SSFV	Sistema Solar fotovoltaica

# Introducción

El consumo mundial de energía está mayormente dominado por fuentes fósiles representando alrededor del 80% del total mientras que el restante proviene de fuentes renovables, sin embargo, en los últimos años han habido cambios significativos en los sistemas de suministro de energía a nivel mundial, con una tendencia hacia una mayor diversificación y la incorporación de tecnologías más limpias, por lo que muchos países tecnológicamente avanzados se han centrado en garantizar un suministro energético seguro, sostenible y eficiente, lo que ha impulsado el movimiento hacia la transición energética (López, 2016).

En el caso de Colombia, su matriz eléctrica está mayoritariamente dominada por la energía hidroeléctrica, seguida de la termoeléctrica y una pequeña proporción de energía renovable no convencional, el país se enfrenta a diversos desafíos vinculados al cambio climático, la emisión de gases de efecto invernadero y la transformación del sistema de producción centralizado (Sanchez & Zuñiga, 2021).

A pesar de que Colombia ha establecido legislaciones como la Ley 1715 del 2014 y la resolución 030 del 2018 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) para fomentar el uso de energías renovables y la generación distribuida, la adopción masiva de estas tecnologías aún se encuentra rezagada en el país, reconociendo los beneficios potenciales de estas fuentes de energía en el desarrollo de sistemas energéticos sostenibles y en la diversificación de las fuentes de energía primaria, persisten varios desafíos en su implementación a gran escala (Poloche, 2022).

Por lo que el país no ha logrado traducir estas directrices en estrategias concretas, generando necesidades en la adquisición y el uso de energía de fuentes renovables para cumplir con los compromisos de sostenibilidad, adoptando modelos económicos verdes. En este sentido, las proyecciones del plan energético nacional y la

matriz energética del país, Colombia muestra un potencial significativo para la incorporación de fuentes de energía fotovoltaica en su combinación de generación eléctrica, gracias a su alta exposición anual al sol y su favorable ubicación geográfica (López, 2016).

La Agencia Internacional de Energía ha advertido que las energías renovables, incluyendo la solar y la eólica, pueden desempeñar un papel esencial en la transición hacia un sistema energético más sostenible, su dependencia de condiciones climáticas favorables plantea desafíos para su integración como la principal fuente de energía (Poloche, 2022). Esto implica que, aunque estas energías pueden proporcionar una contribución significativa a la generación de electricidad, su papel es más efectivo como complemento de otras fuentes de energía más estables y predecibles, como las hidroeléctricas o las termoeléctricas, que pueden proporcionar una mayor estabilidad al suministro energético en el país (Moreno López, 2023).

La implementación de sistemas fotovoltaicos en la generación eléctrica ofrece la oportunidad de fortalecer el sistema existente y reducir los impactos ambientales de las fuentes de energía convencionales. Sin embargo, su viabilidad económica depende de un análisis detallado de los costos de instalación, operación y mantenimiento a lo largo de su vida útil, donde en comparación con los generadores diésel, los sistemas solares fotovoltaicos presentan una mayor inversión inicial, pero costos anuales menores, lo que plantea la necesidad de evaluar el costo-beneficio integral de su implementación en el departamento de San Andrés (Gutiérrez et al., 2015).

En este sentido, Colombia se encuentra en un momento crucial en su transición energética, donde la promoción y adopción de energías renovables, especialmente la solar, podrían desempeñar un papel importante en la reducción de emisiones de carbono y la mejora de la sostenibilidad energética en el país (López, 2016). Específicamente el uso de energía solar fotovoltaica en archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina es importante desde el punto de vista renovable y de eficiencia energética debido a varios factores, uno de ellos es que la generación eléctrica en la isla está basada 99% en plantas diésel, lo que implica un alto costo de producción, un alto costo ambiental asociados a emisiones de gases de efecto invernadero, como gases que aumentan la acidificación del Océano como el  $\text{SO}_2$ , y un importante costo social derivado del peso del costo energético en la canasta familiar y la industria turística de la Región

(nota del autor), por lo que la implementación de sistemas fotovoltaicos permitiría reducir la dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de gases contaminantes (Moreno López, 2023).

Así mismo, el archipiélago cuenta con un potencial de radiación solar promedio diaria anual de 4,5-5,0 kWh/m<sup>2</sup>, lo cual la convierte en un lugar óptimo para aprovechar la energía solar. La utilización de paneles solares fotovoltaicos permitiría aprovechar esta radiación y generar electricidad de manera sostenible. Si se observan los mapas de radiación, el Archipiélago se encuentra en una las franjas óptimas para la producción energética a partir de la radiación solar.

Por lo que la implementación de sistemas fotovoltaicos en el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, es de gran interés a fin de los beneficios de la Ley 1715 del 2014 y la resolución 038 del 2018 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), resultado crucial llevar a cabo un análisis de costo-beneficio para evaluar la viabilidad de la implementación de un sistema de energía solar, especialmente considerando la importancia de promover la sostenibilidad ambiental y abordar los desafíos energéticos en el archipiélago. y mitigar posibles impactos en el sistema eléctrico nacional (Moreno López, 2023).

# 1. Contexto General

Globalmente una fuente de energía renovable denominada fotovoltaica ha sido el tren de impulso a la transformación de los modelos basados en combustibles fósiles (carbon, gas, petróleo), demostrando claramente que trae beneficios al sistema eléctrico, a la economía y a la sociedad en general, por lo tanto, su desarrollo es crucial para satisfacer las necesidades energéticas del futuro. Debido a esto, se ha expandido rápidamente en los últimos años y crea un escenario en la IEA (International Energy Agency) que indica que esta tendencia continuará durante décadas. Sin embargo, la incertidumbre inherente de la energía eólica y la energía solar fotovoltaica frente a su competitividad y usos intensivos de suelo aumenta las preocupaciones, por su viabilidad y rentabilidad. La Agencia Internacional de la Energía (IEA) se ocupa de estas preocupaciones desde 1973 y confirma que el 30% o más de la producción anual de electricidad captada por la energía solar y eólica en los sistemas energéticos puede llegar a poco costo adicional en el largo plazo. Sin embargo, los costos dependen de la flexibilidad del sistema actual y de la estrategia adoptada. La gestión de esta transición será más difícil para algunos países u otros sistemas de energía, según los estudios que avanza esta agencia (Departamento Nacional de Planeación et al., 2017).

A nivel mundial según una publicación del Espectador (2018) países como China, Estados Unidos y la India lideran la revolución energética. La capacidad de energía solar fotovoltaica creció un 50% el año pasado convirtiéndose en la fuente de energía que más rápido creció, superando incluso al carbón. China, según el informe anual de la Agencia Internacional de Energía, fue el gran motor de esta expansión aportando la mitad. Las cifras reveladas por la agencia indican que las nuevas redes energéticas que crecen en el mundo son mayoritariamente renovables. Se estima que dos tercios de la nueva capacidad neta, 165 gigavatios (GW), corresponden a energía limpia. Los pronósticos



apuntan a que la tendencia continuará en 2018 y para 2022, la capacidad de electricidad renovable debería aumentar en un 43%.

Por lo tanto, algunos ejemplos de estudio de caso demuestran la posibilidad de implementación y la factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en las áreas próximas a las centrales eléctricas para la generación distribuida; en este contexto, a través del desarrollo de un artículo en la provincia Santiago de Cuba, se demostró que es posible introducir alternativas en la generación de energía, aprovechando los sistemas de transformación, distribución y subestaciones existente. Se identificó con base en los sistemas de información geográfica las áreas de viabilidad en la etapa de implementación, en el que realizaron un análisis desde el punto de vista del ordenamiento territorial, en cuanto a los resultados dio un área total existente de 1.140,09 km<sup>2</sup> para el 18.5% del territorio total de la provincia, además se extendió a un total de 166,43 km<sup>2</sup> para el 21,7% del municipio próximos a la subestación. Además, el comportamiento potencial solar fue de 6,2 kWh/m<sup>2</sup> y las horas de duración de radiación fueron de 5 horas. Por último, a 5 km de la subestación se produce 459,4 kW/h de energía aprovechada por los módulos y la potencia de incidencia dio de 1,24 kWh/m<sup>2</sup>. Finalmente se concluyó que es económicamente viable introducir nuevas alternativas de generación eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en las proximidades de la central eléctrica de San Luis en la provincia de Cuba porque el tiempo promedio de vida de un módulo fotovoltaico es de 30 años, en ese tiempo la provincia deja de gastar \$3.540.240,00 generando la misma capacidad de potencia (Giraudy Arafet, Massipe Cano, Rodríguez Rivera, Rodríguez Gámez, & Vázquez Pérez, 2015).

Así pues, resulta igualmente interesante para Latinoamérica por lo que existe un aumento de proyectos que ponen en marcha la energía fotovoltaica, por ejemplo, en “Argentina las licitaciones promovidas por el programa Renovar motivan al uso de las energías renovables. Hasta ahora se han concedido un total de 916 megavatios (MW) de energía solar. El financiamiento para energías renovables está disponible con garantías de patrocinadores (Robberechts, 2017)”.

También países como Chile hacen grandes inversiones, como la planta “Amanecer Solar CAP”, considerada el parque solar fotovoltaico más grande de

Latinoamérica, con una capacidad total instalada de 100 MW, que corresponden al consumo anual de 125.000 hogares (Hoyos Gutiérrez & Hernández Mejía, 2017, p. 36)

Es indispensable resaltar que Colombia no es ajena a esta situación. Actualmente, algunas empresas de energía solar fotovoltaica han permitido el acceso a esta nueva tecnología a lugares como Bogotá, Cali, Medellín, entre otras ciudades (Hoyos Gutiérrez & Hernández Mejía, 2017, p. 34). Además, algunas instituciones del estado como la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2015) trabajan en la integración y ejecución de la implementación de energía solar, a través de la presentación de un documento que resume las tareas adelantadas, con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), para evaluar las posibilidades y retos de incorporación de las energías renovables en la canasta energética colombiana. Con relación a lo anterior se identificó que aproximadamente un 78% de la energía consumida hoy en día en Colombia proviene de fuentes fósiles, mientras que el 22% restante proviene de fuentes renovables. Siendo así, que la integración de estas fuentes a la canasta energética nacional cobra relevancia a raíz de sus potenciales beneficios, aunque no hay aún aprovechamiento de la disponibilidad local de conocimiento de fuentes no convencionales de energía renovable en Colombia (FNCER), si existe una progresiva reducción en los costos asociados a su uso y la evolución de las tecnologías relacionadas.

A nivel nacional, se han desarrollado estudios de energía solar fotovoltaica desde la metodología de análisis beneficio/costo, siendo indispensables para el desarrollo de este trabajo. En efecto, universidades han venido protagonizando dichos estudios a través de trabajos de grado de sus estudiantes, como lo es la universidad Nueva Granada; tal es el caso de Sanabria Orozco (2016), que desarrolló un análisis respectivo con una prueba piloto de la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos en la E.S.E. Hospital San Cristóbal, en su sede administrativa. A través de la metodología costo-beneficio, se identificó inicialmente una demanda energética promedio de 7.500 kW/mes, con un valor para el año 2015 de \$29'361.311. Seguidamente se construyó el dimensionamiento del sistema con un total de 62 paneles solares de tecnología de punta alemana que cubrió el 1.488 kW/mes del consumo, con un ahorro del más del 20% y una potencia de 300W cada uno, siendo la instalación de inyección directa a red con una potencia de 18.300 Wh. Además, para este caso de

investigación se asumió un total constante de cuatro (4) horas de aprovechamiento a partir de 10:00 y 14:00 horas del día.

De tal modo, se presentó la evaluación de viabilidad del proyecto con los paneles solares en la sede administrativa, generando un ahorro anual de \$7'126.629, este valor ira descontando año a año hasta el punto donde se retorna la inversión a 30 años, por lo que arrojo que sería para el año 2027, y de ahí en adelante hasta el año 2046 (18 años después) hay un beneficio económico para la entidad de \$127'183.693 producto del sostenimiento y buen manejo del sistema renovable y abriendo puerta a una proyección de inversión en diferentes sedes a futuro, por lo que el beneficio-costo en este estudio dio mayor a 0 y positivo, por ende, asumieron que la implementación del proyecto es viable y económicamente factible.

Así mismo, Ramos Mora y León Reyes (2016) implementaron un trabajo llamado “Análisis costo-beneficio de la implementación de las energías renovables no convencionales en la industria química” desde el punto de vista técnico-económico, enfocado en la empresa Detergentes Ltda. El estudio técnico se fundamenta en tres análisis puntuales: el primero es un análisis de los datos de consumo promedio desde el 2008 hasta el 2016 de energía eléctrica de la empresa, lo cual obtuvieron un valor de 14.500 MW-h/año, con un comportamiento creciente; el segundo, comprende las proyecciones de consumo de demanda de energía eléctrica para 9 años (desde el 2017 con 15.600 MW-h/año, hasta 2026 con 29.000 MW-h/año), desde una perspectiva de crecimiento lineal; por último, un estudio con paneles fotovoltaicos policristalinos con eficiencia del 15% y el gran potencial solar de 4.2 kW/m<sup>2</sup>/día en la ciudad de Bogotá, por ende, el sistema solar fotovoltaico suplirá a la red eléctrica de la empresa un 10% del consumo energético proyectado al año 2026, es decir cerca de 2.927 MWh por año y para los posteriores disminuye su valor porcentual de suplencia con respecto al total de la energía anual consumida, por lo que indica que disminuirá proporcionalmente al paso de los años en el horizonte del proyecto (25 años).

Para el análisis de costo-beneficio, fue indispensable la eficiencia de los procesos energéticos de generación, la infraestructura requerida, los precios de adquisición y los beneficios tributarios y de financiamiento. El análisis financiero realizado demostró que actualmente la tecnología solar fotovoltaica no es rentable para la industria en Colombia

la razón principal es que los costos de estos sistemas son relativamente altos a causa de la escasa madurez del mercado y bajos precios de la energía en el mercado regulado o tradicional. Sin embargo cuando evaluaron la internalización de la externalidad de emisión de gases de efecto invernadero, dio como resultado un escenario con valor presente neto VPN positivo, lo cual indica que si son evaluadas otras externalidad positivas tanto ambientales como sociales y beneficios como generación de empleo, cuantificación y valorización de la disminución de la cargabilidad del sistema eléctrico, entre otras, estas pueden ser consideradas como incentivos, con los cuales dan paso para apoyar a la industria Colombiana a que implemente y ejecute las fuentes de energía renovables no convencionales en su sistema eléctrico.

Sin embargo, hoy en día se han generado iniciativas de algunas empresas y universidades para utilizar este tipo de sistema, por lo que según una publicación del diario Dinero (2018) la Santo Tomás sede Bogotá fue la primera universidad del país en obtener una licencia para construir sistemas de generación de energía solar en 340m<sup>2</sup> y buscando cubrir una demanda de energía. Esta tiene un Plan Maestro que incluye la implementación de sistemas de energía fotovoltaica durante los próximos 20 años para disminuir su huella de carbono y contribuir a la conservación del medio ambiente. El ministro de Hacienda, Mauricio Cárdenas, explicó que el crédito subsidiado de Findeter servirá para la construcción de todo un edificio nuevo en la sede de la Calle 54 con séptima de la Santo Tomás en Bogotá. La obra tendrá una extensión total de 5.632 metros cuadrados, que incluyen los 100 metros de sistema de energía fotovoltaica y tendrá un ahorro de 46% en energía y 20% en agua. De igual manera la universidad “Autónoma de Occidente y la Empresa de energía del pacífico (EPSA), pasó de generar un 5% a un 15% de la energía total consumida por el campus en Cali, siendo el sistema de energía solar más potente del País” (Manrique, 2015).

A nivel local, también se ha venido desarrollando estudios sobre este tipo de energía como lo hizo Ortiz Chacón & Chacón Rincón (2018) en su trabajo de grado titulado “evaluación de los impactos en la implementación de energía solar fotovoltaica para una vivienda unifamiliar (vereda la Cecilia Villavicencio-Meta-Colombia)”, en el cual evaluaron los impactos positivos y negativos en la parte social, económica y ambiental, que genera la implementación de un sistema solar fotovoltaico con paneles solares, en el área de estudio que se encuentra ubicada sobre la vía alterna Villavicencio- Puerto López

que colinda con el Rio Ocoa, comunica al barrio Juan Pablo II, condominio campestre Balmoral, e intercepta con la vía denominada carretera del amor.

La investigación se desarrolló por medio de la metodología cuantitativa y cualitativa para el estudio de impactos ambientales, utilizan el método de Gómez Orea, el cual permitió identificar las acciones y el medio a ser impactado, mediante las fases de adecuación, operación y ciclo final; Los impactos ambientales negativos en el sistema de paneles fotovoltaicos se manifiestan a partir de la vida útil de este, al cumplirse entre 25 a 30 años de servicio. Además, que la utilización de paneles solares impacta positivamente la economía familiar al disminuir el consumo de energía suministrada por la red eléctrica convencional. Y se requiere para el sistema 15681.114 Wh/día, este valor es la demanda de todas las cargas durante las horas y días estipulados. También realizaron un presupuesto sobre el cálculo de los costos de equipos, montaje, mano de obra e imprevistos; que en definitiva, llegaron a concluir que la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico para la implementación tiene un alto costo económico, que a largo plazo se recuperara la inversión ya que se disminuiría el consumo de energía eléctrica convencional y se mitigaría los daños ambientales producidos por el uso de esta al planeta y favorece a la sociedad la cual tiene problemas con la prestación del servicio de energía por los constantes apagones y bajos voltajes en las viviendas.

Cabe considerar que aún existen falencias para la etapa de implementación, por varias razones, que generan mitos acerca del desarrollo de las energías fotovoltaicas en el país, primordialmente en el desconocimiento de los beneficios, aunque ya son fundamentados en la disponibilidad de recursos, la progresiva reducción en los costos de inversión asociados a su aprovechamiento, y la evolución en términos de rendimiento y sofisticación de tecnologías solar, por lo que hace que sea hoy en día un tema para concretar y puntualizar en Colombia; con ello poder lograr un lugar dentro de los países que aumentan la utilización de este tipo de energía y ampliando la matriz energética con el avance en las tecnologías limpias.

Destacando que a nivel nacional se han realizado avances en la legislación y en la investigación de FNCER en zonas no interconectadas en Colombia, no se evidencia investigaciones enfocadas a la implementación o el análisis costo beneficios de la aplicación de estas tecnologías en el departamento de San Andrés Providencia y Santa

Catalina, de igual manera a nivel internacional en ningún documento se habla del análisis para el Archipiélago.

## **1.1 La Importancia de la Energía Fotovoltaica en el Marco de la Renovabilidad y la Eficiencia Energética**

En las últimas décadas, la energía fotovoltaica ha emergido como una de las soluciones más prometedoras y vitales en el campo de las energías renovables. Su relevancia se fundamenta en la necesidad urgente de transitar hacia fuentes de energía más sostenibles y eficientes, especialmente en un contexto marcado por el cambio climático y la creciente demanda energética global. (Akrofi, Okitasari, & Qudrat-Ullah, 2023)

## **1.2 Renovabilidad y Sostenibilidad Ambiental**

La energía solar fotovoltaica, al convertir la luz solar directamente en electricidad, representa una fuente inagotable y limpia de energía. A diferencia de los combustibles fósiles, la energía solar reduce significativamente la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Además, la energía solar es abundante y accesible en casi todas partes del mundo, lo que la convierte en una solución energética particularmente atractiva para una amplia variedad de contextos geográficos y económicos. (Bouramdane, 2023)

## **1.3 Eficiencia Energética**

La tecnología fotovoltaica ha experimentado avances significativos en términos de eficiencia y costos. La mejora continua en la eficiencia de los paneles solares y la reducción de los costos de producción han hecho que la energía fotovoltaica sea cada vez más competitiva en comparación con las fuentes de energía tradicionales. Esta eficiencia no solo se refiere a la capacidad de conversión de energía solar en electricidad, sino también a la reducción del impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de los paneles solares. (Olweus, 2023)

## 1.4 Contexto Específico de San Andrés

Al considerar la implementación de tecnologías fotovoltaicas en San Andrés, es crucial reconocer las características únicas de esta región. San Andrés, por su ubicación geográfica, recibe una alta incidencia de radiación solar, lo que la convierte en un lugar ideal para la implementación de energía solar fotovoltaica. Además, como una isla, San Andrés enfrenta desafíos únicos en términos de dependencia de combustibles fósiles importados y vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, lo que hace aún más imperativa la transición hacia fuentes de energía renovables y eficientes. (Giussani, Mazzucchelli, & Rigone, 2023).

Por lo que la adopción de la energía fotovoltaica en San Andrés no solo es una estrategia viable desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética, sino que también representa una oportunidad para mejorar la resiliencia y la independencia energética de la región, como la transición desde el contexto de Reserva de Biosfera hacia modelos de menor impacto social.

## 2.Estado Del Arte

Para poder profundizar más en el tema de la metodología aplicables para la realización de una evaluación costo benéfico en el archipiélago de San Andrés es necesario realizar una revisión y analizar características e innovaciones que han tendido otros países o institutos de investigación en la aplicación de metodología en el análisis costo beneficio, para poder analizar las diferentes características que pueden ser aplicables en el departamento y poder establecer una que se ajuste a las necesidades de la población.

Iniciando la investigación se logra encontrar que en el 2010 la Electric Power Research Institute (EPRI) realizó un enfoque metodológico para estimar los beneficios y costos de proyectos de demostración de redes inteligentes, se debe enfatizar que a pesar de que esta investigación está basada en la aplicación de fuentes no convencionales de energía en el archipiélago, se pueden tomar aspectos relevantes de las redes inteligentes y analizar las metodologías utilizadas y teniendo en consideración los aspectos más relevantes que puedan servir o ser aplicables a esta investigación, en ese orden de ideas la EPRI presenta una metodología en la cual se presenta un marco integral para la estimación de costos beneficios de los proyectos asociados a Smart Grid y tomando un enfoque metodológico paso a paso en donde se identifican las categorías básicas de los beneficios y los beneficiarios teniendo en consideración la funcionalidad de las Smart Grid. Esta investigación está enfatizada básicamente en intereses monetarios y de confiabilidad eléctrica tras la aplicabilidad de Smart Grid, en donde categorizan los beneficios en económico, confiabilidad, calidad de energía, seguridad y protección, dejando de un lado el beneficio social y ambiental, en ese mismo sentido categorizan los beneficiarios, separándolos en tres grandes niveles, el primero nivel, las empresas de servicio público, en segundo nivel los clientes o usuarios finales y en tercer nivel a la sociedad en general. para el año en cuando se realizó dicha investigación de la

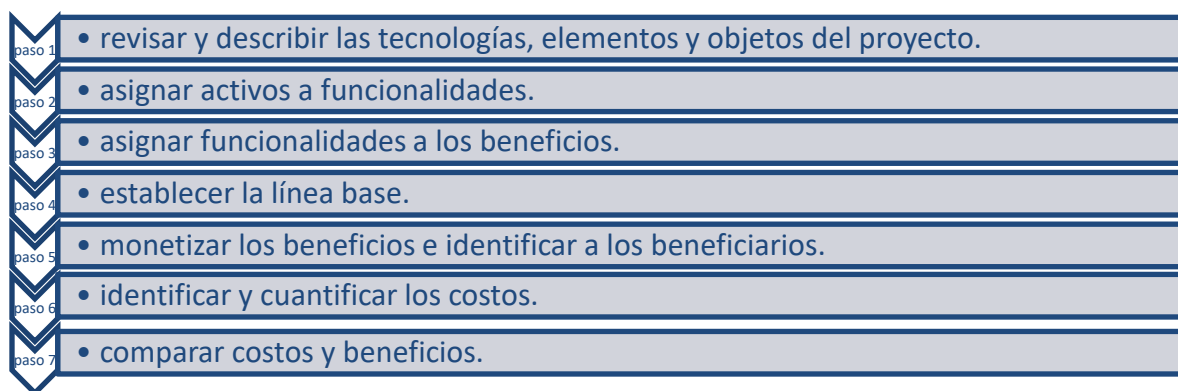


EPRI es muy novedoso observar como integran la aplicación de nuevas tecnologías a la sociedad o los clientes finales y como buscan de una manera muy sencilla monetizar el impacto y los beneficios que puede afectar aplicación de esta nueva tecnología (EPRI, 2010).

Siguiendo ese mismo lineamiento de investigación y dos años más adelante la European Commission presenta en el 2012 un documento llamado Lineamiento Para Realizar un Análisis Costo – Beneficio de proyectos Smart Grid. El principal objetivo de este documentos es brindar una ordenación sistemática y una sugerencia claro para la realización de un análisis costo – beneficio de proyectos Smart Grid, cabe resaltar que este informe es una ampliación basada en los trabajos realizados por EPRI en investigaciones pasadas (EPRI, 2010), en donde con base en las otras investigaciones de años anteriores se brindan pautas y mejores prácticas, es importante mencionar que se han realizado adaptaciones prácticas para su aplicación en europea, de igual manera se tendrán en cuenta y se podrá determinar su aplicabilidad en el territorio insular colombiano.

Este documento inicia su metodología haciendo claridad en la importancia de conocer la política regional europea para poder así tener clara cual sería su aplicabilidad dentro del territorio, seguido de conocer los acuerdos, decretos y marcos que establecen las limitantes políticas para la aplicación de Smart Grid y de igual manera de su análisis se establece marcos de evaluación presentados en el **grafico 1** en donde establecen los siguientes pasos:

#### **Grafica 1. lineamientos para realizar un análisis costos beneficio de Smart Grid**



**Fuente:** informe de referencia del CCI S (Referencia & Cci, 2012)

Es importante mencionar la adaptación que tuvo de la investigación hecha por la EPRI y resaltar que adicionaron factores importantes como temas de política local o regional que son de importancia en la aplicación de nuevas tecnologías, es importante resaltar que para esta metodología tuvieron en cuenta la monetización de los beneficios pero, también se observa que al igual que la EPRI se enfocaron únicamente en parámetros económicos y políticos dejando de un lado el factor ambiental y social que para la aplicación de nuevas tecnologías en el ámbito de beneficio pueden impactar de manera positiva la ejecución de este tipo de proyectos.

Enfocando nuestra investigación en el ámbito nacional se encuentra que el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en la división del cambio climático presenta una metodología para un análisis costo beneficio para la implementación de energía renovables como opción para alcanzar las metas de cero emisiones en el territorio nacional y quienes haciendo énfasis en el sector energético propone una metodología basada en tres (3) pasos o estrategias, la primera determinando los diferentes escenarios y la medición de sus impactos, realizando mediciones y proyecciones al 2050 para poder forzar la transición energética y tener valores de medición claras con respecto a la realidad, el segundo es aplicando escenarios de mini costo en donde no se considera ninguna restricción con respecto a las emisiones, basándose únicamente en la minimización de costos y teniendo en cuenta la posibilidad de evolución tecnológica y un tercer paso basado en la aplicación de mitigación en donde se castigue drásticamente las altas emisiones y se favorezca a los que menos emisiones emitan. (Arguello et al., 2022). Con estos tres pasos el BID plantea su metodología para realizar un análisis costo beneficio en el territorio nacional.

Ese mismo sentido la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) realiza una metodología de análisis para la integración de las energías renovables no convencionales en Colombia en donde con esta metodología permite medir el flujo de caja de cada proyecto identificando características de tecnología, básicamente en esta metodología contemplan tres etapas o fases, la primera llamada entrada, en esta etapa se identifican costos primarios como CAPEX o OPEX, de igual manera se identifican si tiene subsidios o incentivos y la política fiscal regional, luego, tienen en cuenta costos adicionales como conexiones con el sistema de conexión local, impuestos y costos de

capital, la segunda etapa definida como calculo, es en donde se mida el precio de la energía y su interacción con los costos primarios, variables macroeconómicas y su influencia en el comercio local, la ultima etapa denominada salida, en donde se mide el EBIDTA y el flujo de caja de cada proyecto. De igual manera contemplan externalidades externas que puedan afectar cada proyecto y directamente afectar el análisis costo beneficio, estas externalidades pueden afectar de manera positivo o negativa el proyecto infiriendo (González Estrada et al., 2015).

Con base en lo planteado en esta investigación el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la presidencia de la república en cabeza del doctor Iván Duque Márquez realizaron la transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia en su capitulo siete (7) denominado Misión de Transformación Energética: hoja de ruta para la modernización e inclusión de nuevas tecnologías en el sector eléctrico establece una metodología para fomentar y apoyar la transición energética en Colombia (Ministerio de Minas y Energía de Colombia et al., 2021), quienes en su metodología establece pasaos para poder realizar un análisis costo beneficio de transición energética, los pasos planteados son los siguientes:

- Diseños de mercado a corto plazo.
- Diseño de contratos y mercados.
- Participación de recursos energéticos distribuidos.
- Incorporación de recursos distribuidos.
- Diseños de tarifas regulatorias.
- Planificación y remuneración de los sistemas de distribución.
- Operación del mercado

Con estos pasos a considerar establecen la manera mediante la cual se puede realizar una metodología de análisis beneficio costo para la transición energética en el territorio nacional.

Ahora bien, se debe tener en cuenta que no es posible hablar de un análisis costo beneficio si no contemplamos los impactos o beneficios ambientales que pueden incurrir tras la aplicación de fuentes no convencionales de energía en el departamento, por este

motivo es necesario recovar información sobre metodologías en donde se tengan en cuenta variables ambientales para poder de manera sistemática cuantificarlas y agregarlas a este caso de estudio específico.

En este orden de ideas se logra encontrar con una metodología plateada por el equipo técnico de la oficina de gestión ambiental de la Universidad Nacional en el año 2016 llamada “*metodología para la evaluación de impactos ambientales de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá*”, en donde comienzan esta investigación definiendo el impacto ambiental como cualquier alteración en el medio ambiente biótico, abiótico y socioeconómico ya sea de índole positivo o negativo, total o parcial y que sea causado a tribuido a la ejecución de cualquier actividad o proyecto humano lo que nos desprende un estado del ambiente con y sin proyecto o actividad humana(Toro et al., 2016).

Dentro de esta metodología es interesante e innovador como comparan diferentes tipos de metodologías de impactos ambientales para poder aplicar una de estas al estudio de los impactos ambientales en la universidad nacional, en la siguiente tabla explicamos un poco cada una de las metodologías que ellos plantean en su investigación para así poder determinar elementos que sean aplicables a un análisis costo beneficio en el archipiélago de San Andrés.

**Tabla 1. Metodologías de impactos ambientales**

Nombre de la metodología	Descripción de la metodología
<b>Metodología de Leopold</b>	Es una matriz de doble entrada en donde en las filas se disponen los factores ambientales que pueden ser afectados y en las columnas las actividades que se van a realizar en la ejecución del proyecto considerando a esta última como la causal de los posibles impactos, cada celda deberá ir separada por una diagonales m donde en una sección de la dicha diagonal va la magnitud del impacto y en la otra sección la importancia del impacto.

<p><b>Metodología cualitativa</b></p>	<p>Es una metodología a en la asignación de 11 atributos que buscan de manera fácil y sencilla la identificación de manera detallada del impacto ambiental, cada atributo es evaluado de manera subjetiva empleando escalas cualitativas (alto, bajo, medio, etc.) a las cuales posteriormente se le asigna un valor numérico.</p>
<p><b>Metodología de la matriz de valoración de riesgo RAM</b></p>	<p>Esta es una metodología cualitativa basada en las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia de una determinada intervención, se inicia con la indicación de las actividades a realizar en el proyecto, la cuales posteriormente son clasificadas y evaluadas según su consecuencia, esto determina para cada actividad las consecuencias reales tras la actividad y lo que permite analizar que sucedería en un a condición diferente, permitiendo de esta manera tener dos parámetros de comparación.</p>
<p><b>Metodología de empresas públicas de Medellín</b></p>	<p>Esta metodología se realiza una primera etapa que es la organización de las actividades del proyecto, la segunda etapa consiste en la identificación de los impactos ambientales a través de diagramas de red de flujo y como etapa final es la evaluación de estos impactos a través de in índice de calificación ambiental el cual permite cuantificar cada impacto en relación a cada actividad.</p>
<p><b>Metodología de redes complejas</b></p>	<p>Se basa en la interpretación de las relaciones de causalidad presentada entre las actividades del proyecto y los impactos ambientales, para poder análisis esta relación se hace una matriz de adyacencia en donde ubican en fialas y en columnas las actividades y los impactos, una vez realizado la</p>

	tabla se grafican en un diagrama de redes que permite interpretar la relación de los elementos.
<b>Metodología Battelle - Columbus</b>	Esta metodología basa su aplicación en la generación de una lista de chequeo en donde se ponderás las características ambientales a través de una característica valorizable que permite su comparación logrando de esta manera que las unidades de medida se conviertan en unidades de calidad ambiental. La aplicación de esta metodología puede resumirse en cuatro etapas, la primera la asignación de los valores a los parámetros ambientales, la segunda la transformación a indicadores de calidad ambiental, la tercera la asignación de unidades de importancia y la ultima al cálculo de las unidades de impactos.

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.Marco Teórico

Para poder entender la aplicabilidad de una análisis costo beneficio en el territorio insular debemos conocer más de fondo en que consiste un análisis costo beneficio y que metodología podríamos utilizar para lograr el objetivo, El análisis de costo beneficio es fundamental en la evaluación de la viabilidad económica de un proyecto, tecnología o sistema, proporcionando una evaluación cuantitativa de los costos y beneficios monetarios asociados con el desarrollo, mantenimiento y operación de un proyecto durante su vida útil. Se emplean varios indicadores económicos, como el valor actual neto (VAN), la relación costo-beneficio (RCB) y la tasa interna de retorno (TIR), para medir la viabilidad económica de un proyecto (Raigosa & Raigosa, 2021). El VAN se calcula mediante la consideración de todos los flujos de efectivo de un proyecto a lo largo de un período elegido, mientras que la RCB se refiere a la relación entre los costos y los beneficios generales del proyecto. Por otro lado, la TIR se calcula como la tasa de descuento que corresponde a un VAN de cero.

La compilación de datos es una etapa crítica en el análisis de costo beneficio a menudo, es necesario basarse en la experiencia de otros países para poder establecer uno lineamientos claros que permitan realizar un análisis eficiente y que se ajusten a las necesidades de cada proyecto, realizando una análisis en la literatura encontramos que la Electric Power Research Institute (EPRI) en su trayectoria investigativa a podido comenzar a dictar directrices claras que permiten un orden sistemático para la aplicación de una metodología (EPRI, 2010), como lo es en el documentos enfoque metodológico para estimar los beneficios y costos de proyectos de demostración de redes inteligentes, en donde establece como primera medida se debe definir dentro de cada proyecto que es un beneficio, teniendo en consideración que cada proyecto es particular y la definición de beneficio y beneficiario puede varias en cada caso particular, para la aplicación de Smart Grid definen los beneficios como un impacto que tiene un valor para una empresa,

una sociedad o un cliente en general dentro de un proyecto y este valor puede ser positivo o negativo y que en esa medida dichos beneficios deben ser cuantificables para poder compararlos y más si desean expresarse en términos monetarios. Como segunda medida para la realización de una metodología sistemática establecen la categoría de los beneficios, de donde surgen a sus ves cuatro (4) categorías de beneficios que se pueden establecer en proyectos de Smart Grid, pero, que son de igual manera aplicables a proyecto y a análisis costo beneficio, estas categorías son:

- Económicos: costos aumentados o reducidos que resultan de una eficiencia significativa del sistema de servicios públicos y la gestión de activos.
- Confiabilidad y calidad de la energía: reducción de fallas o interacciones del sistema de distribución
- Seguridad y protección: mejoras en la seguridad energética, es decir desplazar la dependencia del petróleo
- Medio ambiente: mejora la condición de salud de la población y reducir los impactos al medio ambiente.

Como tercera medida o lineamiento definen y establecen los beneficiarios que para este proyecto los separan en tres (3) grandes grupos:

- Las empresas prestadoras del servicio público: definidas como los proveedores de la calidad de energía, disponibilidad y operatividad del sistema eléctrico.
- Los clientes o usuarios finales: definidos como contribuyentes que se benefician de los cambios de las tarifas tras la mejora en la prestación del servicio, mejoras en la calidad de le energía y confiabilidad de la energía.
- La sociedad en general: definida como toda aquella población que de una u otra manera se beneficie, ya sea por un efecto directo como el ahorro, la disponibilidad o la confiabilidad de manera indirecta con las mejoras a la salud y el medio ambiente.

Tras tener claro las definiciones, los beneficios y los beneficiaros de la aplicación de estas tecnologías en un análisis costo beneficios se prosigue a precisas la estimación o asignar magnitudes a cada beneficios con la única intención de poder lograr niveles de



precisión, es de considerar que esta metodología es para evaluar los beneficios en niveles cualitativos es decir que no existe necesariamente una relación directa entre la estimación y la magnitud del beneficio y que generalmente es con la intención de lograr una reducción de costo por año determinando cada impacto (EPRI, 2010).

Otra metodología que se debe identificar y analizar su aplicación a esta investigación es la metodología propuesta por European Commission llamado Lineamiento Para Realizar un Análisis Costo – Beneficio de proyectos Smart Grid, , quien centra su investigación para definir su metodología en siete (7) pasos, pasos en los cuales abarca muchas particularidades que vale la pena resaltar a continuación en los siguientes pasos:

- 1. Revisar y describir las tecnologías, elementos y objetivos del proyecto:** para la ejecución de este paso dentro de la metodología es necesario realizar un resumen y una verificación de todos los elementos que van a intervenir en la ejecución del mismo, como lo son, tecnologías, escalas o alcance del proyecto, las características de ingeniería, memorias de cálculo, data sheet de equipos a utilizar, declaratoria clara del objetivo y partes que intervienen.
- 2. Asignar activos a funcionalidades:** para la ejecución de esta etapa se debe tener claro que tipo de activos van a trabajar en el proyecto, una vez, se tiene claro, se debe determinar que función tiene para así poder determinar cuál es su incidencia en los resultados obtenidos.
- 3. Asignar funcionalidades a los beneficiarios:** el propósito de esta etapa es la realización de un primer mapeo en donde se cruce la información recolectada de los activos y funcionalidad con beneficios potenciales dentro de la ejecución del proyecto.
- 4. Establecer la línea base:** el principal objetivo de establecer la línea base del proyecto es definir el estado de control, que refleja el estado actual del sistema antes de la aplicación del proyecto, lo que permite comparar todos los diferentes escenarios del sistema.
- 5. Monetizar los beneficios e identificar a los beneficiarios:** tras haber definido la línea base y los escenarios del proyecto se puede recopilar y reportar los datos para cuantificar y monetizar los beneficios, cabe resaltar que este paso no se

podrá realizar si nos se tiene toda la información procesada y tabulada, lo que facilitara su entendimiento y aclaración, para la cuantificación se basan en la investigación hecha por la (EPRI, 2010) en donde se establece que la **formula 1** para cuantificar los beneficios esta dada por :

**Formula 1:** Valor (\$) = {condición}línea base – {condición}proyecto

- 6. Identificar y cuantificar los costos:** los costos estas relacionados directamente con la inversión o el dinero gastado en la implementación del proyecto, en relación en la línea base, es importante en este paso cuantificar y registrar todos los costos que genero el proyecto en su implementación para poder de esta manera calcular cuál fue su inversión y cuál sería su tasa de retorno de esa inversión, para luego poder determinar cual sería el punto de equilibrio, cabe definir el punto de equilibrio como el momento exacto donde la inversión se cruza con la ganancia y se comienza a recibir utilidad y se ha recuperado la inversión.
- 7. Comparar costos y beneficios:** para finalizar la metodología se debe recopilar anualmente los costo y beneficios durante el periodo de estudio para realizar comparaciones anuales, se recomienda que estas comparaciones sean realizadas mediante tablas lo que facilite su entendimiento y la generación de conclusiones, es importante tener en cuenta que estas comparaciones deben contemplar informaciones anuales del CAPEX y OPEX para poder definir el VAN o valor presente neto o la estimación de las sumas actuales con el flujo de caja del proyecto, esto me permite determinar el beneficio neto devuelto a los inversionistas del proyecto(Referencia & Cci, 2012).

Contextualizando las metodología antes descritas en nuestro país la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) realiza un metodología de análisis para la integración de las energías renovables no convencionales en Colombia de donde se pueden rescatar pasos o estepas aplicables, teniendo en consideración que en esta metodología se contempla aspectos del ámbito financiero, político y agentes externos que pueden llegar afectar el desarrollo de cada proyecto, dentro de estos aspectos cabe resaltar que esta investigación presenta inicialmente unas barreras que pueden presentar los proyectos de fuentes no convencionales para su aplicación en el territorio nación, barreras que es importante mencionar en la **tabla 2:**

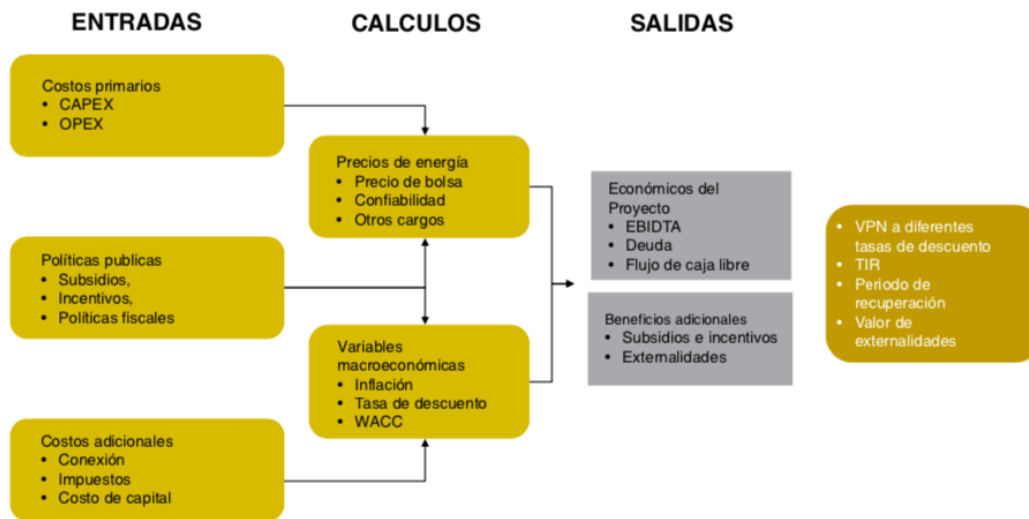
**Tabla 2. Barreras en la aplicación de sistemas solares fotovoltaicos**

<b>Tema</b>	<b>Descripción de la barrera</b>
<b>Venta de excedentes</b>	La ley (anterior a la Ley 1715 de 2014) prohíbe a los autogeneradores la venta de excedentes en condiciones permanentes, y no existe una figura reglamentada de productor marginal
<b>Política energética</b>	No existe una política energética en materia de generación distribuida con FNCER de pequeña escala, desarrollada por o para usuarios medianos y pequeños, conectados a las redes de distribución
<b>Requerimientos técnicos</b>	No existe una normatividad (normas técnicas y estándares) establecida para la selección de equipos, la configuración, instalación y conexión al SIN de pequeños o grandes sistemas de generación con energía solar FV
<b>Información de potenciales</b>	No se tiene certeza sobre los potenciales objeto de posible desarrollo para con base en ellos determinar y cuantificar los posibles impactos sobre las redes de distribución
<b>Financiación</b>	No se cuenta con esquemas financieros orientados a la inversión en este tipo de sistemas, especialmente dirigidos a los mercados o subsectores propicios para el desarrollo de sistemas de generación distribuida con solar FV
<b>Redes inteligentes</b>	A 2014 no se cuenta con una propuesta o un desarrollo regulatorio dirigido al desarrollo de redes inteligentes

**Fuente:** (UPME, 2015)

Una vez logran identificar las posibles barreras que podrían dificultar la aplicación de proyectos y sistemas solares fotovoltaicos en el territorio nacional disponen una metodología clara la cual facilita su entendimiento por medio del **grafico 2:**

**Grafica 2. Metodología de evaluación costo beneficio – beneficio**



Fuente: (UPME, 2015)

Para poder entender el gráfico de la metodología planteada por la UPME debemos analizar cada variable y su incidencia dentro de la metodología, para poder determinar su aplicación a esta investigación.

- **Entrada:** como primera etapa se debe definir el origen de todos los costos, subsidios, incentivos, impuestos y política. Aspectos que se deben contemplar conocer al iniciar cualquier investigación de este tipo para poder como se ha mencionado con anterioridad la línea base y los costos iniciales del proyecto, así, como todos los demás factores que pueden intervenir activamente en el desarrollo del proyecto de inversión.
- **Calculo:** como se observa en la gráfica 2 la siguiente etapa es de cálculo en donde una vez definido e identificado los valores que intervienen en nuestro proyecto se prosigue a determinar la línea base y a realizar la relación y el efecto que presenta cada valor en la ejecución de proyecto, es importante resaltar que incluyen términos nuevos en una evolución costo benéfico y que son particulares de cada lugar de ejecución del proyecto como el tema de la inflación, confiabilidad del sistema y tasas de descuentos.
- **Salida:** finaliza este proceso metodológico con una etapa denominada salida, que consiste en la revisión final de todo el flujo económico del

proyecto y también la intervención de agentes externos denominados externalidades, estas externalidades que agentes externos que pueden afectar positiva o negativamente la ejecución del proyecto y por ende el balance financiero del mismo, dentro de estas externalidades adicionan beneficios positivos que impactan la economía local como desarrollo economía y generación de empleo que en otras metodología son se habían tenido en cuenta en la etapa de ejecución de un proyecto de este tipo que genera impactos positivos e impositivos en una región (UPME, 2015).

Para finalizar se genera un informe ejecutivo en donde se puede evidenciar los resultados de la aplicación de esta metodología a una evaluación costo beneficio para proyectos de innovación tecnológica o reconversión energética.

De igual manera es importante contextualizar las metodologías en donde se contemplen la cuantificación de los impactos ambientales y sociales, teniendo en consideración que tras la aplicación de un sistema solar fotovoltaico a los diferentes usuarios del territorio insular de San Andrés, se generaran impactos no solo económicos si no también ambientales y sociales que es importante cuantificar y dar valor debido a que estos impactos son los de mayor importancia teniendo en consideración que Archipiélago de San Andrés es considerado desde el 2002 como reserva de biosfera por las entidad encargada de la protección de parques nacionales Coralina.

Teniendo en consideración lo antes descrito se realizó el análisis de diversas metodologías utilizada por el equipo técnico de la oficina de gestión ambiental de la Universidad Nacional en el año 2016 llamada "*metodología para la evaluación de impactos ambientales de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá*", en donde definen y dan ventajas y desventajas de seis (6) metodologías las cuales sirvieron de base para poder escoger diversas características y poder armas así una metodología que sea aplicable a esta territorio con diversas particularidades que obliga a diversificar la matriz para la aplicación de una metodología costo beneficio que se pueda ajustar al departamento.

La universidad nacional comienza realizando un análisis de la Metodología de Leopold la cual es una matriz de doble entrada en donde en la primera fila se identifican y enumeran los factores ambientales y en las columnas las acciones o actividades que se realizarán en el proyecto, en la intersección de cada fila y cada columna se divide por una diagonal en donde en una sección se le asigna una magnitud y en la otra sección la importancia de la acción, como se muestra en la siguiente **tabla 3**:

**Tabla 3. Metodología de Leopold**

	Acción 1	Acción 2	Acción n
Factor Ambiental 1	/	/	/
Factor Ambiental 2	/	/	/
Factor Ambiental n	/	/	/

**Fuente:** (Toro et al., 2016)

La aplicabilidad de este método es práctica debido a su facilidad y sencillez, pero es esa misma sencillez la que la deja obsoleta porque solo utiliza la evaluación de dos atributos haciéndola muy subjetiva y teniendo en cuenta que no contempla escala para su evaluación dificulta e impide obtener un marco para la interpretación de los resultados.

Otra metodología analizada por la oficina de gestión ambiental fue la metodología cualitativa, es decir su evaluación es subjetiva y comienza con la identificación de once (11) atributos que ayuden a describir de manera detallada el impacto por la actividad dentro del proyecto a los cuales se les asigna tributos para posteriormente ser valorados numéricamente como se muestra en la siguiente **tabla 4**:

Tabla 4. Atributos de la metodología cualitativa

Atributo	Característica	Opciones
Naturaleza (+/-)	Describe si el impacto es positivo o negativo	(+) (-)
Intensidad (In)	Evalúa el grado de destrucción o transformación del factor ambiental	Baja (1) Media (2) Alta (4) Muy alta (8) Total (12)
Extensión (Ex)	Evalúa el área de influencia o afectación	Puntual (1) Parcial (2) Extensa (4) Total (8) Crítica (+4)
Momento (Mo)	Se califica de acuerdo con el tiempo transcurrido entre la actividad y la manifestación del impacto.	Largo plazo (1) Mediano plazo (2) Corto plazo (3) Inmediato (4) Crítico (+4)
Persistencia (Pe)	Evalúa el tiempo de permanencia del impacto	Fugaz o momentáneo (1) Temporal o transitorio (2) Pertinaz o persistente (3) Permanente o constante (4)
Reversibilidad (Rv)	Se califica de acuerdo con el tiempo que puede transcurrir entre la finalización de la actividad que origina el impacto y la reconstrucción del factor ambiental por medios naturales.	Corto plazo (1) Mediano plazo (2) Largo plazo (3) Irreversible (4)
Recuperabilidad (Rc)	Evalúa la posibilidad de reconstruir el factor ambiental por medios técnicos y el tiempo requerido para esto.	Recuperable de manera inmediata (1) Recuperable en el corto plazo (2) Recuperable en el mediano plazo (3) Recuperable en el largo plazo (4) Mitigable, sustituible o compensable (4) Irrecuperable (8)
Sinergia (Si)	Evalúa la capacidad del impacto para interactuar con otros, de forma que se potencialice sus efectos.	Sin sinergismo o simple (1) Sinergismo moderado (2) Muy sinérgico (4)
Acumulación (Ac)	Califica el incremento progresivo del impacto.	Simple (1) Acumulativo (4)
Efecto (Ef)	Evalúa la relación causa-efecto del impacto.	Indirecto o secundario (1) Directo o primario (4)
Periodicidad (Pr)	Tiene en cuenta la regularidad de la manifestación del impacto.	Irregular, aperiódico y esporádico (1) Periódico o de regularidad intermitente (2) Continuo (4)

**Fuente:** Conesa (2010). (Toro et al., 2016)

En ese mismo orden se emplea una escala de medición para poder interpretar los resultados representada en la siguiente **tabla 5:**

**Tabla 5. Escala de interpretación para la metodología cualitativa**

Categoría	Calificación
Irrelevante	<25
Moderado	25-50
Severo	50-75
Critico	>75

**Fuente:** Conesa (2010). (Toro et al., 2016)

La principal falencia de esta metodología es el uso o la asignación de atributos que no aportan información relevante o importancia a la ejecución del proyecto, de igual manera como la metodología de Leopold presenta un componente sugestivo que limita la interpretación del análisis de impacto ambiental al sujeto que realiza el estudio lo que no permite estandarizar el análisis, otra falencia es la falta de definición de las escalas para la evaluación de los tributos dejando nuevamente la evaluación sujeta a la interpretación del individuo que realice el estudio.

Es importante tener dentro de las metodologías aplicables a un estudio de impacto ambiental definir y tener claro cómo funcionan las metodologías que no aplican variables subjetivo y que permiten determinar valores y cualificarlos de manera sistemática sin importar quien haga la evaluación, una de estas es la metodología Battelle - Culumbus, esta consiste en la ponderación de características ambientales como se muestra en la **tabla 6**, para de esta forma permitir su comparación mediante unidades de medida como se muestra en la **tabla 7**, las cuales se convierten en calidad ambiental a través de funciones de transformación. Su aplicación está basada en cuatro etapas, inicia con la asignación de valores a los parámetros ambientales, seguido de la transformación de los indicadores en calidad ambiental, luego se asigna unidades de importancia a los factores ambientales y finaliza con el cálculo de la unidad de impacto ambiental.

**Tabla 6. Listado De Factores Ambientales Y Sociales**

Medio	Componente	Factor
Económico	Economía	Estructura de la Propiedad



		Costo de Inversión CAPEX
		Costo de Operación OPEX
		Sistema Productivo
		Sistema Extractivo
		Tecnificación
		Mercado y Comercio
		Incentivos
		Subsidios
		Empleo
		Infraestructura
Salud		
Educación		
Servicios Sociales		
Políticas Públicas		
Conexión a Red		
Servicios Públicos		
Socio - cultural	Comunidad	Población
		Migración
		Ocupación del Territorio
		Grupos Humanos
		Valores Ciudadanos
		Impuestos

		Participación Ciudadana
		Bienestar social
	Cultura	Valores prácticos Culturales
		Uso y Manejo del Entorno
Marcos Normativos		
Arqueología		
Físico	Geoformas	Geología
		Morfología
		Morfodinamica
		Morfoestructuras
	Paisaje	Visibilidad
		Estructuras
		Diversidad de Unidades
		Estética Característica
	Suelo	Uso
		Textura
		Fertilidad
		Nivel Friático
	Agua	Caudales
		Hidromorfología
		Volumen de Agua
		Calidad Físicoquímica

		Calidad Bacteriológica
		Aguas Subterráneas
		Patrones de Drenaje
		Régimen Hidrológico
		Nivel Friático
	Atmosfera	Calidad del Aire
		Clima: Temperatura
		Clima: Precipitación
		Clima: Humedad
		Clima: Viento
		Clima: Radiación
		Clima y Microclimas
		Ruido
Biótico	Flora	Cobertura Vegetal
		Composición Vegetal
		Distribución de Flora
		Diversidad Vegetal
	Fauna	Diversidad de Fauna
		Cadenas Alimenticias
		Hábitat
		Población
		Hidrófana

Fuente: (Toro et al., 2016)

**Tabla 7. Unidades De Medida Parámetros Ambientales**

Criterio	Categoría	Valor Numérico
No tiene efecto	Muy Bajo	2
Presenta efecto leve	Bajo	4
Puede Presentar efecto leve	Medio	6
Puede presentar efecto nocivo	Alto	8
Tiene efecto nocivo	Muy Alto	10

**Fuente:** (Toro et al., 2016)

Esta metodología al igual de las otras presenta limitantes, una de esta es la realización de estos análisis ambientales de manera predictiva, es decir sin modelar el comportamiento de cada parámetro ambiental.

Es importante mencionar que esta metodología a comparación de las otras descritas me elimina el factor subjetivo y me permite evaluar cualitativamente cada factor ambiental, reduciendo el porcentaje de incertidumbre y aumentando la precisión de la evaluación.

### 3.1 Marco Legal

En la actualidad existen normativas para promover la investigación y el uso adecuado de las energías renovables con el objetivo de satisfacer la demanda energética tanto a nivel nacional como internacional.

El Protocolo de Kioto que tiene su origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, fue aprobado en la Sede de las Naciones Unidas en 1992, adoptándose finalmente en la conferencia de las partes en 1997, con el objetivo de estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero, en donde se establece el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual permite que un país en

virtud del protocolo, ponga en práctica proyectos de reducción de las emisiones en países en desarrollo (Ministerio de Minas y Energía de Colombia et al., 2021).

En Colombia, las instituciones encargadas de regular las normativas legales vigentes son el Ministerio de Minas y Energía quien determina las políticas y lineamiento del sector y es el articulador frente al Plan Nacional de Desarrollo, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), la cual planea el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos, además de producir y divulgar la información requerida para la formulación de política y toma de decisiones (Ministerio de Minas y Energía de Colombia et al., 2021); la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que regula la prestación de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica, gas combustible y servicios públicos de combustibles líquidos, además, promueve el desarrollo sostenido de estos sectores, regula los monopolios e incentiva la competencia donde sea posible atender las necesidades de los usuarios de acuerdo a los criterios establecidos por la ley (Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, 2018), y el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), el cual es una organización intergubernamental de la que Colombia hace parte desde el año 2014 gracias a la ley 1665 de 2013 aprobada por el Congreso de la República, en donde se establece por objetivo promover el desarrollo sostenible, mitigar los problemas de seguridad energética y combatir el cambio climático (Ministerio de Minas y Energía de Colombia et al., 2021)

Dentro de las normas legales referentes al uso de energías renovables en el país, se encuentra principalmente, el Art. 79 de la Constitución política de Colombia, el cual establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo y es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

Seguidamente, debido a que el proyecto se plantea para realizar una instalación solar fotovoltaica conectada a la red, se tiene en cuenta la Ley 143 de 1994, por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética.

Así mismo, se debe aplicar la Ley 697 de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. Complementándola con la actual Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

Además, la Resolución 0551 de 2009, por la cual se adoptan los requisitos y evidencias de contribución al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al mecanismo de desarrollo limpio (MDL).

El proyecto se debe enmarcar en la ley 1715 de 2014, la cual determina las bases y lineamientos para el desarrollo de proyectos basados en Fuentes no Convencionales de Energía Renovable y como esta se incorporará a la matriz legal de prestación del servicio de Energía.

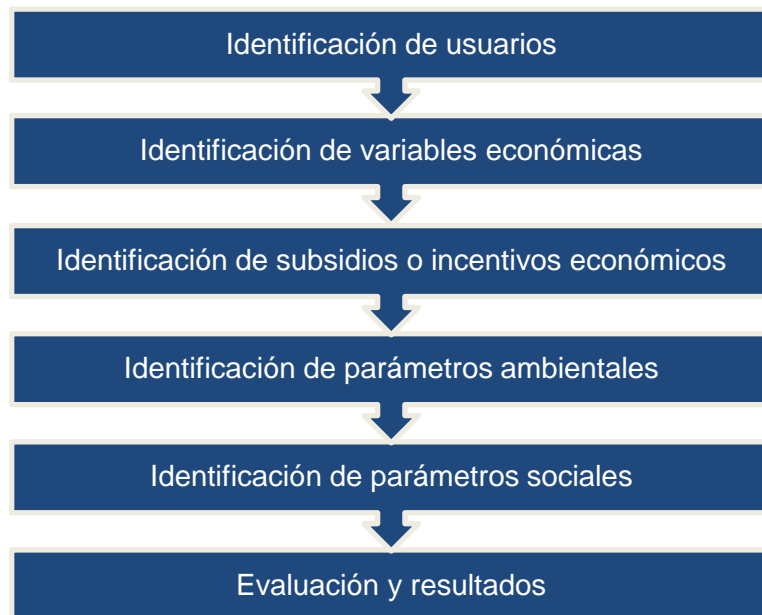
Incluyendo también la Resolución 180919 de 2010, por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la energía y demás Formas de Energía No Convencionales PROURE.

La Resolución CREG 038 de 2018, que determina la forma en que proyectos de auto generación se conectaran a los Sistemas de Distribución Local SDL y el marco regulatorio para la relación entre los usuarios auto generadores y los Comercializadores como los operadores de Red OR.

## 4. Metodología Para El Análisis Costo – Beneficio.

Para la aplicación de una metodología válida para el archipiélago debemos analizar diversas metodologías y con la información recolectado tomar los aspectos considerados aplicables en el archipiélago y así, poder crear una que se ajuste a las realidades de departamento, en ese orden de ideas se encuentra que después de analizar diferentes metodologías se pueden hacer adaptaciones prácticas en donde se tome información de cada una de las y poder de estar manera armar una que se molde de manera más ajustada a las necesidades y realidades del departamento, bajo este lineamiento se plantea la siguiente metodología:

**Grafica 3. Metodología Costo - Beneficio Aplicable**



**Fuente:** Elaboración propia

- 1. identificación de usuarios:** Como primera medida se debe identificar los usuarios o tipos de usuarios producto de la investigación para poder determinar sus consumos y la forma como usa la energía teniendo en consideración que cada usuario usa la energía de maneras diferentes dependiendo sus necesidades lo que al final se refleja en el consumo mes por cada usuario, Para esta investigación los clasificamos en la siguiente manera:

**Tabla 8. Clasificación De Usuarios**

<b>Estrato O Condición Económica</b>	<b>Consumo (Kw/Mes)</b>
<b>Estrato 1 Y 2</b>	100 a 800
<b>Estrato 6</b>	1001 a 2000
<b>Comercial</b>	Mas de 2000
<b>Oficial</b>	Mas de 2000

**Fuente:** Elaboración propia

Es importante mencionar que la clasificación de los usuarios se realizó por su consumo y no por su estratificación social, porque en el desarrollo de esta investigación nos dimos cuenta de que habían usuarios que vivían en zonas de estratificación social 1 y 2 pero su consumo era elevado, es decir se asimilaba el consumo de un usuario estrato 6, por esta razón se estratificaron por su consumo y no por su ubicación en el territorio o las condiciones de la vivienda.

- 2. identificación de variables económicas:** Se cuantifica todos los costos asociados a la aplicación de un sistema solar fotovoltaico para solventar la demanda de cada usuario y con el costo calcular CAPEX y OPEX para poder calcular cual sería el flujo de caja de cada proyecto aplicado a cada usuario específico y poder determinar en este orden de idea cuál sería el retorno de la inversión y la recuperación del capital.
- 3. identificación de subsidios o incentivos económicos:** Se abordará a realizar los respectivos cálculos de cuánto dinero dejaría de pagar la nación en subsidio



tras la solvencia de la demanda de cada usuario con un sistema solar fotovoltaico.

- 4. Identificación de parámetros ambientales:** se toman factores ambientales planteados en la metodología Battelle – Culumbus que puedan ser afectados con la aplicación de un sistema solar dependiendo cada usuario presentado en la **tabla 9**. Se usa una unidad de medida o ponderado tomada de la metodología Battelle – Culumbus para la ponderación de los parámetros ambientales presentada en la **tabla 10**. De igual manera se debe cuantificar monetariamente cada incidencia de impacto sea negativa o positiva para que entre en el análisis costo beneficio de la aplicación de la metodología.

**Tabla 9. Factores Y Parámetros Ambientales**

Medio	Componente	Factor
Físico	Geoformas	Geología
		Morfología
		Morfodinamica
		Morfoestructuras
	Paisaje	Visibilidad
		Estructuras
		Diversidad de Unidades
		Estética Característica
	Suelo	Uso
		Textura
		Fertilidad
		Nivel Friático
	Agua	Caudales

		Hidromorfología
		Volumen de Agua
		Calidad Físicoquímica
		Calidad Bacteriológica
		Aguas Subterráneas
		Patrones de Drenaje
		Régimen Hidrológico
		Nivel Friático
	Atmosfera	Calidad del Aire
		Clima: Temperatura
		Clima: Precipitación
		Clima: Humedad
		Clima: Viento
		Clima: Radiación
		Clima y Microclimas
		Ruido
Biótico	Flora	Cobertura Vegetal
		Composición Vegetal
		Distribución de Flora
		Diversidad Vegetal
	Fauna	Diversidad de Fauna
		Cadenas Alimenticias

		Hábitat
		Población
		Hidrófana

**Fuente:** adaptación de metodología Battelle – Culumbus

**Tabla 10. Ponderado Para Parámetros Ambientales**

Criterio	Categoría	Valor Numérico
No tiene efecto	Muy Bajo	2
Presenta efecto leve	Bajo	4
Puede Presentar efecto leve	Medio	6
Puede presentar efecto nocivo	Alto	8
Tiene efecto nocivo	Muy Alto	10

**Fuente:** adaptación de metodología Battelle – Culumbus

5. **Identificación de parámetros sociales:** Se debe considerar el impacto social y determinar económicamente como impacta el proyecto. Esto incluye cuantificar la creación de empleo en el sector de las energías renovables, medir el impacto en las comunidades locales y los beneficios de reducir la dependencia de combustibles fósiles.
6. **Evaluación y resultados:** se debe determinar cuál es el costo inicial para cada usuario, el costo de operación y mantenimiento y luego hacer la comparación con todos los posibles beneficios que puede tener y cuál es la incidencia de estos beneficios en estos aspectos económicos, para poder determinar viabilidad o no de la aplicación de sistemas solares fotovoltaicos en diferentes usuarios y en el archipiélago de San Andrés.

## **5. Aplicación de la metodología para el análisis costo – beneficio.**

Una vez se tiene claro los pasos y los factores que intervienen en una metodología costo beneficio aplicable a la implementación de un sistema solar en el Archipiélago de san Andrés se debe comenzar a ver el comportamiento de esa metodología con usuarios que presenten diferentes consumos, diseñarles un sistema solar que solviente la energía requerida por ellos en horas del día y luego entrar a analizar cuáles fueron sus costos vs benéficos con la aplicación de estas tecnologías dentro del departamento.

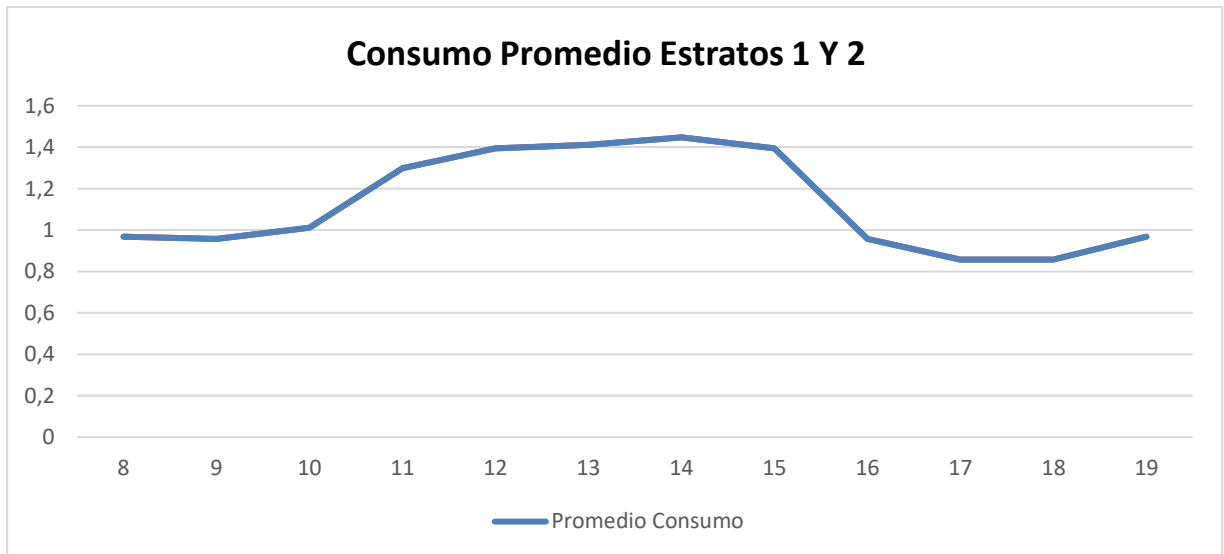
Es importante tener en cuenta que para esta investigación se diseñan sistemas solares los cuales solventen únicamente la energía diurna debido a que para poder diseñar sistemas para cubrir demandas nocturnas se requiere la instalación de sistemas de almacenamientos (baterías), la cuales para esta investigación no se tendrán en cuenta debido a su alto grado de contaminación y a que el relleno sanitario del departamento no cuenta con capacidad y manejo para su disposición final, en ese orden de ideas proponer o fomentar la instalación de sistemas con estos elementos encarece, dificulta y alarga el procedo debido a que se deben diseñar planes de contingencia y plan de reciclaje para la disposición final de ese tipo de residuo considera toxico al cumplir su vida útil.

### **5.1 Estratos 1 y 2**

El usuario estrato 1 y 2 los definimos como aquellos que presentan un consumo promedio mes de 100 a 800 kwh/mes, con esta información modelamos una gráfica de

consumo con la cual se diseña un sistema solar fotovoltaico que solvente gran parte de la energía requerida durante el día, en la **gráfica 4** presentamos como es la curva de consumo promedio de un estrato 1 y 2 en el departamento:

**Gráfica 4. Consumo estratos 1 y 2**

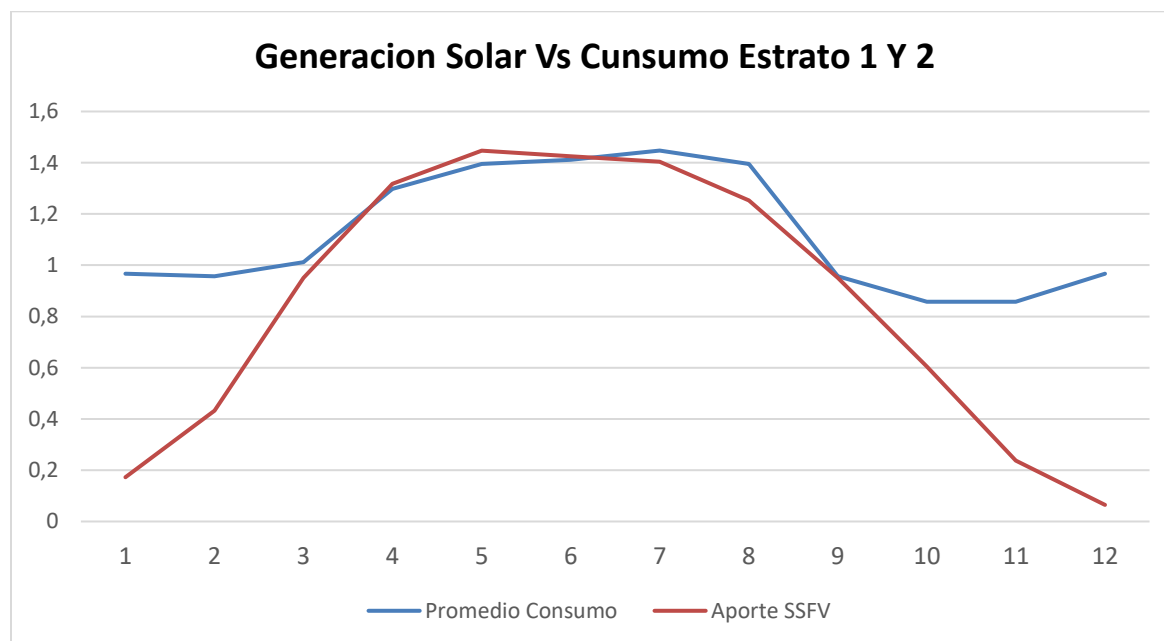


**Fuente:** Elaboración propia

En la **gráfica 4** se muestra como es el comportamiento promedio de estos usuarios en donde presentan sus picos de consumo en horario comprendido entre las 1:00 am y las 2:00 pm porque la mayoría de estos usuarios son personas que trabajan y tienen horarios de trabajo normales los que los hace ausentarse de su casa en horas de la mañana, venir a almorzar en las horas del mediodía y retomar labores en la tarde llegando a la vivienda nuevamente al finalizar su jornada laboral.

Con esta información se diseñó un sistema solar que tenga la capacidad de solventar la mayor energía posible en el día entregando como resultado un sistema solar compuesto con cuatro (4) paneles solares monocristalinos de celda dividida con capacidad de generación de 600 Wp los que tendrían una capacidad instalada de 2.400 Wp, acompañado de sus sistema de inversión, protecciones, cableado y todas las actividades anexas que sean requerida para su instalación, se grafica la curva de generación y se traslapa con la curva de consumo promedio de estratos 1 y 2 para poder analizar y determinar la idoneidad de la planta de generación, entregando como resultado la **gráfica 5** que se muestra a continuación:

**Gráfica 5. Generación Solar Vs Consumo Estrato 1 Y 2**



**Fuente:** Elaboración propia

Definiendo el tamaño de la planta solar proseguimos a determinar el valor de esta planta para ese usuario, teniendo en cuenta valores de transporte mano de obra local y todos los valores asociados al montaje de un sistema solar fotovoltaica dentro del departamento. Para esta planta obtenemos CAPEX o costo de adquisición representado en la **tabla 11**.

**Tabla 11. Costos SSFV para usuarios 1 y 2**

Item	DESCRIPCION	UND.	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Sistema de Módulos Solares Fotovoltaicos	Glb	1	\$ 5.800.000,00	\$ 5.800.000,00
2	Elementos de Soporte y Fijación sistema solar Fotovoltaico	Glb	1	\$ 2.069.000,00	\$ 2.069.000,00
3	Conductores y Ducteria CC Sistema Fotovoltaico	Glb	1	\$ 1.938.950,00	\$ 1.938.950,00
4	Caja de Conexiones y Protecciones C.C. Sistema Fotovoltaico	Glb	1	\$ 3.720.800,00	\$ 3.720.800,00
5	Sistema de Conversión DC/AC	Glb	1	\$ 6.500.000,00	\$ 6.500.000,00
6	Materiales y Equipos para la Conexión de los Sistemas y Protecciones de C.A.	Glb	1	\$ 1.377.600,00	\$ 1.377.600,00
7	sistema de conexión a la red local	Glb	1	\$ 2.050.000,00	\$ 2.050.000,00
8	Sistema de apantallamiento	Glb	1	\$ 400.600,00	\$ 400.600,00
<b>TOTAL GASTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 23.856.950,00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

El precio inicial para el montaje de un sistema solar que cumpla con las necesidades de un usuario con este tipo de consumo es de aproximadamente veintitrés millones ochocientos cincuenta y seis mil novecientos cincuenta pesos (\$ 23.856.950,00).

El costo promedio de operación, mantenimiento y funcionamiento OPEX es de ochocientos cincuenta mil pesos (\$ 850.000,00) cada seis meses que es el tiempo prudente para la revisión, inspección y mantenimiento preventivo de estos sistemas dentro del archipiélago por alto grado de salinidad en el cual nos encontramos.

Debemos analizar cuanto se representa este consumo en valor a pagar en factura teniendo en cuenta que la energía en San Andrés es subsidiada (Res – MME 180069 de 2008 y 180196 de 2011) lo que quiere decir que el costo real de la energía es más alto que el costo que paga el usuario, para la fecha de la investigación el Costo Unitario (Cu) de la energía era de mil ciento setenta y siete pesos (\$ 1177,00) (Res – GREG 160/2008 GREG 073/2009) de los cuales se subsidia un consumo de subsistencia de 187 kw/mes lo que quiere decir que para un usuario que consuma 800 kw/mes como lo planteamos en esta investigación debería pagar en factura de energía al precio neto de la energía un valor aproximado de novecientos cuarenta y un mil pesos (\$ 941.000,00), pero la nación le subsidia el 68,28% lo que deja solamente un saldo por pagar por parte del usuario de trescientos mil pesos (\$ 300.000,00) aproximadamente, esto sin la implementación de un sistema solar fotovoltaico, con el diseño planteado el usuario tendría un ahorro de la energía diurna del 86% y un ahorro mes de 44% lo que quiere decir que de esos trescientos mil pesos (\$ 300.000,00) solo pagaría en promedio ciento sesenta y ocho mil pesos (\$ 168.000,00).

Ahora debemos analizar los beneficios de lograr una independencia del sistema de distribución local del archipiélago el cual genera energía eléctrica a partir de fuentes fósiles, pero analicemos cual es el beneficio de esta independencia energética cuando por algún motivo la operadora de red local deja de suministrar energía durante 12 horas del día, usuario estrato 1 y 2 pierde un dinero el cual se debe cuantificar de manera positiva en la aplicación de la metodología, esta cuantificación incide es en las pérdidas que pueda sufrir el usuario tras la falta de energía pérdidas que se cuantifican en pérdida en alimentos perecederos que requieren refrigeración o en gasto adicionales que puede incurrir el usuario en la compra de hielo para mantener la cadena de frío de sus alimentos, en esa orden de idea el usuario puede perder el mercado de esa semana que

si nos basamos en información de gastos de alimentación en el archipiélago esta por día en treinta mil pesos (\$30.00,00) (ripadvisor.co/ShowTopic) lo que me da unos novecientos mil pesos (\$900.00,00) al mes que en promedio lo que gasta un usuario en mercado, es decir si falla el sistema y falla el suministro de luz el usuario podría perder el valor antes descrito con la pérdida de los alimentos, riesgo que se elimina si el usuario logra una dependencia energética a través del sistema de generación solar fotovoltaica diseñado en la metodología.

Teniendo claro el panorama económico y de subsidios es importante analizar los factores ambientales para esto empleamos la tabla de factores de la metodología Battelle – Culumbus con la intención de poder analizar los beneficios ambientales que puede presentar la aplicación de un sistema de generación solar fotovoltaicas para usuarios de estos estratos, para esto se presenta la **tabla 12**.

**Tabla 12. Factores Ambientales**

Estratos 1 y 2			
Medio	Componente	Factor	Categoría
Físico	Geoformas	Geología	2
		Morfología	2
		Morfodinamica	2
		Morfoestructuras	2
	Paisaje	Visibilidad	6
		Estructuras	6
		Diversidad de Unidades	6
		Estética Característica	4
	Suelo	Uso	2
		Textura	2



		Fertilidad	2
		Nivel Friático	2
	Agua	Caudales	6
		Hidromorfología	4
		Volumen de Agua	4
		Calidad Fisicoquímica	4
		Calidad Bacteriológica	2
		Aguas Subterráneas	2
		Patrones de Drenaje	4
		Régimen Hidrológico	2
		Nivel Friático	2
	Atmosfera	Calidad del Aire	2
		Clima: Temperatura	2
		Clima: Precipitación	2
		Clima: Humedad	2
		Clima: Viento	2
		Clima: Radiación	2
		Clima y Microclimas	2
		Ruido	2
Biótico	Flora	Cobertura Vegetal	2
		Composición Vegetal	2
		Distribución de Flora	2

	Fauna	Diversidad Vegetal	2
		Diversidad de Fauna	2
		Cadenas Alimenticias	2
		Hábitat	2
		Población	2
		Hidrófana	2

**Fuente:** Elaboración propia

De la tabla anterior debemos analizar de que los sistemas solares no realizan gran afectación de manera negativa al medio ambiente, se afecta en gran medida el paisaje y la armonía de la naturaleza, también se presentan afectaciones en estos estratos en los factores que tienen que ver con el agua, porque la comunidad en esos sectores garantizan el acceso al agua con la captación de agua lluvia de las cubiertas de sus casa, al instalar paneles solares sobre estas cubiertas se puede afectar moderadamente esta captación y es por eso que hay afectación alguna en estos factores para estos usuarios. Si queremos monetizar estos impactos podríamos deducir el gasto que tenga el usuario en reparar o buscar una solución para mejorar la captación de agua lo que podría estar en promedio en un valor de dos millones quinientos mil pesos (\$ 2.500.000,00) para la instalación de canaletas nuevas, redirigir el agua y poder captar mejor el agua. Desde una perspectiva mas amplia hay que hacer la comparación si se generara esta energía con las fuentes de generación convencionales (máquinas Diésel), las cuales por su naturaleza utilizan combustibles fáciles los cuales al momento de ocurrir algún siniestro suelen generar vertimiento de residuos aceitosos, lo que ocasiona costos como los son el kit de derrame que vale en promedio novecientos sesenta mil pesos (\$ 960.00,00) sin contar la posibilidad de contaminación de acuíferos o fuente de aguas subterráneas.

De igual manera se debe monetizar los impactos positivos generados tras la sustitución de generación de energía con fuentes no convencionales de energía, como primer costo seria los bonos de carbono que puede recibir por las toneladas de CO2 dejadas de emitir al medio ambiente que para el 2023 esta fijado en veinte mil quinientos

pesos (\$ 20.500,00) (<https://www.larepublica.co/>), teniendo en consideración que un usuario estrato 1 y 2 que consume en promedio 800 kw/mes requiere unos 12000 gal de Diésel lo que genera alrededor de 1,18 Ton CO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que el ahorro es del 44% para este usuario esto representa dejar de emitir 522 Kg de CO<sub>2</sub> al medio ambiente mes lo que en un año representa 6273 Kg CO<sub>2</sub> que monetizado en bonos de carbono son ciento veinte ocho mil quinientos (\$ 128,500,00) pesos anuales que recupero en beneficio el usuario. Otro impacto positivo que llega con la sustitución de la tecnología utilizada para generar energía es en la calidad del aire, a medida que se valla descontaminando el aire impacta positivamente al usuario reduciendo a la frecuencia de enfermedades respiratorias, lo que se refleja económicamente en compra de insumos médicos y días dejados de laborar, esta perdida monetaria puede estar en valores que pueden oscilar desde cincuenta mil pesos (\$50.000,00) hasta doscientos mil pesos (\$ 200.000,00) dependiendo la gravedad de la afección respiratoria y las frecuencia con que falta al trabajo. Es importante mencionar la inversión anual que hace el gobierno por proteger el medio ambiente teniendo en cuenta que el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, declarado como Reserva de Biosfera Seaflower por el Secretariado del Man and Biosphere Program (MaB), de UNESCO (<https://www.coralina.gov.co>), invierten una cantidad considerable a la recuperación de la barrera coralina, que es la tercera mas grande del mundo y la primera mas grande de Colombia, para el año pasado el estado dispuso una suma de uno punto cuatro billones de pesos (1.4 billones) (<https://www.minambiente.gov.co/presupuesto>) presupuesto que se podría bajar considerablemente si con la aplicación de sistemas solares fotovoltaico se logra la disminución de la huella de carbono en el departamento.

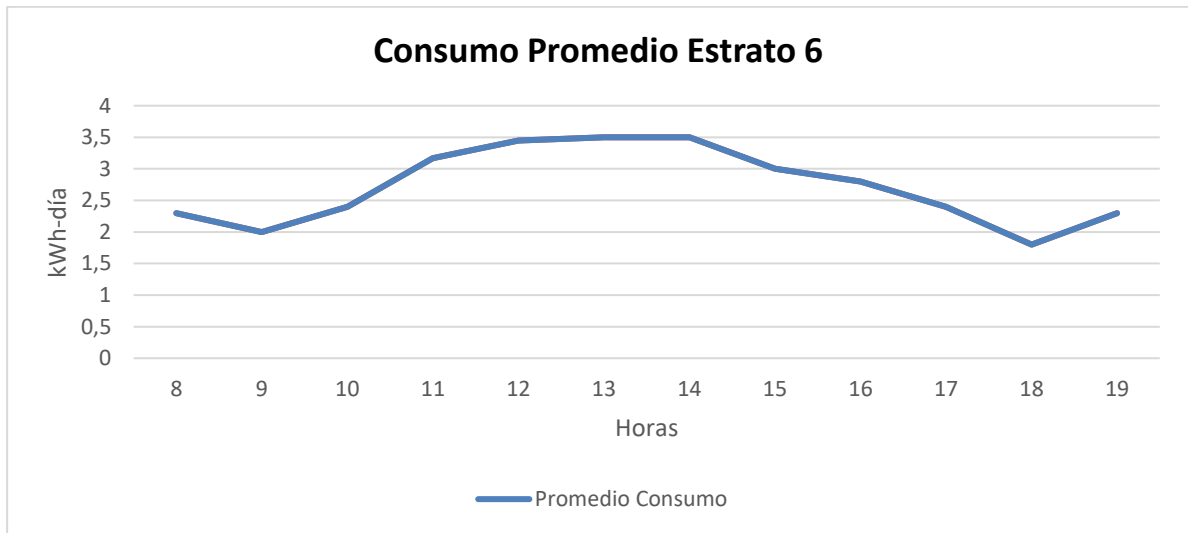
Un ultimo aspecto a analizar dentro de esta metodología es el aspecto social y cultural, tras la aplicación de esta tecnologías se crea oportunidades de empleo, el primer empleo que se genera es el de los trasportadores que por trasladar cuatro (4) paneles a San Andrés cobras de ochenta mil pesos (\$80.00,00) a un millo (\$ 1.000.000,00), luego hay que tener en cuenta el que lo traslada al sitio de trabajo o la vivienda que cobra entre treinta y cinco (\$ 35.000,00) hasta ciento cincuenta mil pesos (\$ 150.000,00), luego debemos tener en cuenta el albañil que haga el montaje de estructuras que cobra al redero de ciento diez mil (\$ 110.000,00) por riel (soporte de panel) montado y finalmente tenemos a los eléctrico o técnicos electricistas certificados que cobran por tendido

eléctrico, conexión y armado de instalación eléctrica para un proyecto del tamaño del planta para estos usuarios alrededor de tres millones de pesos (\$ 3.000.000,0) por mano de obra sin materiales, al punto que se quiere llegar es que estos costos contribuyen a la generación de empleo por la aplicación de estas tecnologías, es de mucha relevancia el tener en cuentas al momento de monetizar y determinar si la aplicación de un proyecto de energías renovables (sistema solar fotovoltaico) es o no beneficio dentro del departamento. Dentro de este aspecto social también cabe resaltar la importancia de los recursos dejados de girar o ahorrados por la nación debido a que la energía que se deje de consumir son suicidios que deja de pagar la nación, estos dineros puede reinvertirlos en el beneficio de la comunidad como la creación de parques, escuelas, hospitales etc., lo que impacta de manera positiva el ámbito social mejorando la calidad de vida de los habitantes del archipiélago.

## 5.2 Estratos 6

El usuario estrato 6 los definimos como aquellos que presentan un consumo promedio mes de 1001 a 2000 kw/mes, con esta información modelamos una gráfica de consumo con la cual se diseña un sistema solar fotovoltaico que solvente gran parte de la energía requerida durante el día, en la **gráfica 6** presentamos como es la curva de consumo promedio de un estrato 6 en el departamento:

### **Gráfica 6. Consumo estrato 6**



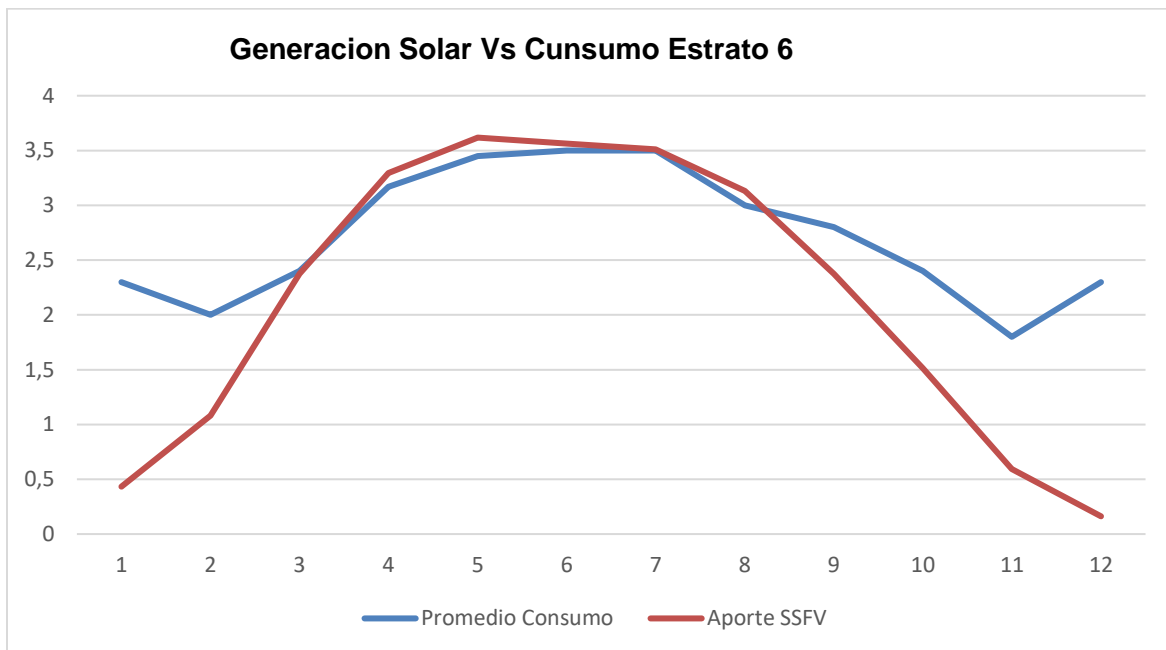
**Fuente:** Elaboración propia

En la **gráfica 6** se muestra como es el comportamiento promedio de estos usuarios en donde presentan sus picos de consumo en horario comprendido entre las 1:00 am y las 2:00 pm porque la mayoría de estos usuarios son personas que trabajan y tienen horarios de trabajo normales los que los hace ausentarse de su casa en horas de la mañana, venir a almorzar en las horas del medio día y retomar labores en la tarde llegando a la vivienda nuevamente al finalizar su jornada laboral, pero también es importante mencionar que estos usuarios normalmente tiene personas que están en la casa todo el día ya sea haciendo labores de aseo o arreglos en jardinería y trabajos de ese tipo por ese motivo siempre tienen un consumo elevado en horas cuando las cabeza del hogar están por fuera, de igual manera mencionar que la cantidad de equipos electrónicos es mas elevada y teniendo en cuenta que son personas que tienen mejores condiciones que las de estrato 1 y 2 por ende tienen mayor cantidad de equipos de confort como aires acondicionados, computadores, televisores y demás que prenden por mas horas al día

Con esta información se diseño un sistema solar que tenga la capacidad de solventar la mayor energía posible en el día entregando como resultado un sistema solar compuesto con diez (10) paneles solares monocristalinos de celda dividida con capacidad de generación de 600 Wp los que tendrían una capacidad instalada de 6000 Wp, acompañado de sus sistema de inversión, protecciones, cableado y todas las

actividades anexas que sean requerida para su instalación, se grafica la curva de generación y se traslapa con la curva de consumo promedio de estratos 6 para poder analizar y determinar la idoneidad de la planta de generación, entregando como resultado la **Gráfica 7** que se muestra a continuación:

**Gráfica 7. Generación solar Vs estrato 6**



**Fuente:** Elaboración propia

Definiendo el tamaño de la planta solar proseguimos a determinar el valor de esta planta para ese usuario, teniendo en cuenta valores de transporte mano de obra local y todos los valores asociados al montaje de un sistema solar fotovoltaica dentro del departamento. Para esta planta obtenemos CAPEX o costo de adquisición representado en la **tabla 13**.

**Tabla 13. Costos SSFV para usuarios 6**

Item	DESCRIPCION	UND.	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Sistema de Módulos Solares Fotovoltaicos	Glb	1	\$ 14.500.000,00	\$ 14.500.000,00
2	Elementos de Soporte y Fijación sistema solar Fotovoltaico	Glb	1	\$ 5.817.000,00	\$ 5.817.000,00
3	Conductores y Ducteria CC Sistema Fotovoltaico	Glb	1	\$ 1.938.950,00	\$ 1.938.950,00
4	Caja de Conexiones y Protecciones C.C. Sistema Fotovoltaico	Glb	1	\$ 3.720.800,00	\$ 3.720.800,00
5	Sistema de Conversión DC/AC	Glb	1	\$ 12.500.000,00	\$ 12.500.000,00
6	Materiales y Equipos para la Conexión de los Sistemas y Protecciones de C.A.	Glb	1	\$ 1.377.600,00	\$ 1.377.600,00
7	sistema de conexión a la red local	Glb	1	\$ 2.050.000,00	\$ 2.050.000,00
8	Sistema de apantallamiento	Glb	1	\$ 400.600,00	\$ 400.600,00
<b>TOTAL GASTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 42.304.950,00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

El precio inicial para el montaje de un sistema solar que cumpla con las necesidades de un usuario con este tipo de consumo es de aproximadamente cuarenta y dos millones trescientos cuatro mil novecientos cincuenta pesos (\$ 42.304.950,00).

El costo promedio de operación, mantenimiento y funcionamiento OPEX es de novecientos cincuenta mil pesos (\$ 950.000,00) cada seis meses que es el tiempo prudente para la revisión, inspección y mantenimiento preventivo de estos sistemas dentro del archipiélago por alto grado de salinidad en el cual nos encontramos.

Debemos analizar cuanto se representa este consumo en valor a pagar en factura teniendo en cuenta que la energía en San Andrés es subsidiada (Res – MME 180069 de 2008 y 180196 de 2011) lo que quiere decir que el costo real de la energía es mas alto que el costo que paga el usuario, para la fecha de la investigación el Costo Unitario (Cu) de la energía era de mil ciento setenta y siete pesos (\$ 1177,00) (Res – GREG 160/2008 GREG 073/2009) de los cuales se subsidia por tarifa de 800 kw/mes y de hay presenta tarifa plena, lo que quiere decir que para un usuario que consuma 1001 y 2000 kw/mes como lo planteamos en esta investigación debería pagar en factura de energía al precio neto de la energía un valor aproximado de dos millones trescientos cincuenta y cuatro mil pesos (\$ 2.354.000,00), pero la nación le subsidia el 49,79% de tarifa plena, lo que deja solamente un saldo por pagar por parte del usuario de un millón ciento ochenta un mil pesos (\$ 1.181.000,00) aproximadamente, esto sin la implementación de un sistema solar fotovoltaico, con el diseño planteado el usuario tendría un ahorro de la energía diurna del 92% y un ahorro mes de 58% lo que quiere decir que de esos setecientos

cincuenta y tres mil pesos (\$ 753.000,00) solo pagaría en promedio de quinientos noventa mil pesos (\$ 590.000,00).

Ahora debemos analizar los beneficios de lograr una independencia del sistema de distribución local del archipiélago el cual genera energía eléctrica a partir de fuentes fósiles, pero analicemos cual es el beneficio de esta independencia energética cuando por algún motivo la operadora de red local deja de suministrar energía durante 12 horas del día, usuario estrato 6 pierde un dinero el cual se debe cuantificar de manera positiva en la aplicación de la metodología, esta cuantificación incide es en las pérdidas que pueda sufrir el usuario tras la falta de energía pérdidas que se cuantifican en pérdida en alimentos perecederos que requieren refrigeración o en gastos adicionales que puede incurrir el usuario en la compra de hielo para mantener la cadena de frío de sus alimentos, en esa orden de idea el usuario puede perder el mercado de esa semana que si nos basamos en información de gastos de alimentación en el archipiélago esta por día en treinta tres mil pesos (\$33.00,00) (ripadvisor.co/ShowTopic) lo que me da un millón de pesos (\$1.000.00,00) al mes que en promedio lo que gasta un usuario en mercado, es decir si falla el sistema y falla el suministro de luz el usuario podría perder el valor antes descrito con la pérdida de los alimentos, riesgo que se elimina si el usuario logra una dependencia energética a través del sistema de generación solar fotovoltaica diseñado en la metodología.

Teniendo claro el panorama económico y de subsidios es importante analizar los factores ambientales para esto empleamos una adaptación de la tabla de factores de la metodología Battelle – Culumbus con la intención de poder analizar los beneficios ambientales que puede presentar la aplicación de un sistema de generación solar fotovoltaicas para usuarios de estos estratos, para esto se presenta la **tabla 14**.

**Tabla 14. Factores ambientales.**

Estratos 6			
Medio	Componente	Factor	Categoría
Físico	Geoformas	Geología	2
		Morfología	2



		Morfodinamica	2
		Morfoestructuras	2
	Paisaje	Visibilidad	6
		Estructuras	6
		Diversidad de Unidades	6
		Estética Característica	4
	Suelo	Uso	2
		Textura	2
		Fertilidad	2
		Nivel Friático	2
	Agua	Caudales	6
		Hidromorfología	4
		Volumen de Agua	4
		Calidad Fisicoquímica	4
		Calidad Bacteriológica	2
		Aguas Subterráneas	2
		Patrones de Drenaje	4
		Régimen Hidrológico	2
		Nivel Friático	2
	Atmosfera	Calidad del Aire	2
Clima: Temperatura		2	
Clima: Precipitación		2	
Clima: Humedad		2	
Clima: Viento		2	

		Clima: Radiación	2
		Clima y Microclimas	2
		Ruido	2
Biótico	Flora	Cobertura Vegetal	2
		Composición Vegetal	2
		Distribución de Flora	2
		Diversidad Vegetal	2
	Fauna	Diversidad de Fauna	2
		Cadenas Alimenticias	2
		Hábitat	2
		Población	2
		Hidrófana	2

**Fuente:** Elaboración propia

De la Tabla anterior debemos analizar de que los sistemas solares no realizan gran afectación de manera negativa al medio ambiente, se afecta en gran medida el paisaje y la armonía de la naturaleza, estos usuarios a diferencia de los otros usuarios los estrato 1 y 2 no presentan tanta dependencia a la captación del agua lluvia de sus cubiertas porque la mayoría cubre su demanda de agua con captación de aguas subterráneas, pero de igual manera hay una afectación porque por la implementación de estas sistemas en sus cubiertas se modifica los patrones de caída lo que dificulta el rellenado de la agujeros y genera impacto negativo al medio ambiente. Desde una perspectiva mas amplia hay que hacer la comparación si se generara esta energía con las fuentes de generación convencionales (máquinas Diésel), las cuales por su naturaleza utilizan combustibles fáciles los cuales al momento de ocurrir algún siniestro suelen generar vertimiento de residuos aceitosos, lo que ocasiona costos como los son el kit de derrame que vale en promedio novecientos sesenta mil pesos (\$ 960.00,00) sin contar la posibilidad de contaminación de acuíferos o fuente de aguas subterráneas.

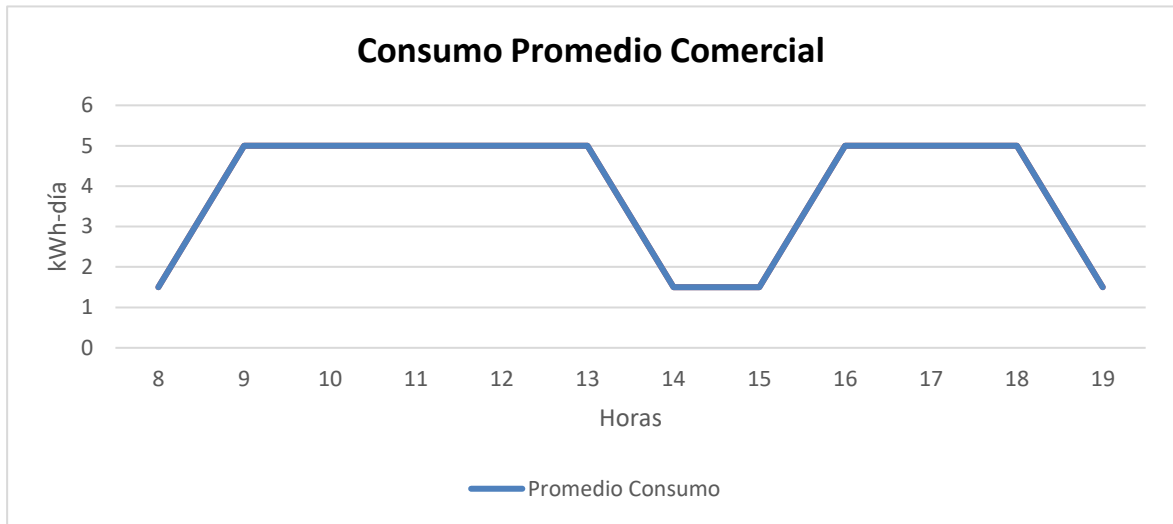
De igual manera se debe monetizar los impactos positivos generados tras la sustitución de generación de energía con fuentes no convencionales de energía, como primer costo sería los bonos de carbono que puede recibir por las toneladas de CO<sub>2</sub> dejadas de emitir al medio ambiente que para el 2023 está fijado en veinte mil quinientos pesos (\$ 20.500,00) (<https://www.larepublica.co/>), teniendo en consideración que un usuario estrato 6 que consume en promedio hasta 2000 kWh/mes requiere unos 30.000 gal de Diésel, lo que genera alrededor de 2,97 Ton CO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que el ahorro es del 58% del consumo diario, este usuario esto representa dejar de emitir 1,7222 Kg de CO<sub>2</sub> mensual al medio ambiente mes lo que en un año representa 20,67 Kg CO<sub>2</sub> que monetizado en bonos de carbono son cuatrocientos veinte tres mil ochocientos un mil pesos (\$ 423.801,00) pesos anuales que recupero en beneficio el usuario. Otro impacto positivo que llega con la sustitución de la tecnología utilizada para generar energía es en la calidad del aire, a medida que se valla descontaminando el aire impacta positivamente al usuario reduciendo a la frecuencia de enfermedades respiratorias, lo que se refleja económicamente en compra de insumos médicos y días dejados de laborar, esta pérdida monetaria puede estar en valores que pueden oscilar desde cincuenta mil pesos (\$50.000,00) hasta doscientos mil pesos (\$ 200.000,00) dependiendo la gravedad de la afección respiratoria y las frecuencias con que falta al trabajo. Es importante mencionar la inversión anual que hace el gobierno por proteger el medio ambiente teniendo en cuenta que el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, declarado como Reserva de Biosfera Seaflower por el Secretariado del Man and Biosphere Program (MaB), de UNESCO (<https://www.coralina.gov.co>), invierten una cantidad considerable a la recuperación de la barrera coralina, que es la tercera más grande del mundo y la primera más grande de Colombia, para el año pasado el estado dispuso una suma de uno punto cuatro billones de pesos (1.4 billones) (<https://www.minambiente.gov.co/presupuesto>) presupuesto que se podría bajar considerablemente si con la aplicación de sistemas solares fotovoltaico se logra la disminución de la huella de carbono en el departamento.

Un último aspecto a analizar dentro de esta metodología es el aspecto social y cultural, tras la aplicación de estas tecnologías se crean oportunidades de empleo, el primer empleo que se genera es el de los transportadores que por trasladar diez (10) paneles a San Andrés cobran de ochenta mil pesos (\$80.000,00) a un millón (\$ 1.000.000,00), luego

hay que tener en cuenta el que lo traslada al sitio de trabajo o la vivienda que cobra entre treinta y cinco (\$ 35.000,00) hasta ciento cincuenta mil pesos (\$ 150.000,00), luego debemos tener en cuenta el albañil que haga el montaje de estructuras que cobra al redero de ciento diez mil (\$ 110.000,00) por riel (soporte de panel) montado y finalmente tenemos a los eléctrico o técnicos electricistas certificados que cobran por tendido eléctrico, conexión y armado de instalación eléctrica para un proyecto del tamaño del planta para estos usuarios alrededor de tres millones de pesos (\$ 3.000.000,0) por mano de obra sin materiales, al punto que se quiere llegar es que estos costos contribuyen a la generación de empleo por la aplicación de estas tecnologías, es de mucha relevancia el tener en cuentas al momento de monetizar y determinar si la aplicación de un proyecto de energías renovables (sistema solar fotovoltaico) es o no beneficio dentro del departamento. Dentro de este aspecto social también cabe resaltar la importancia de los recursos dejados de girar o ahorrados por la nación debido a que la energía que se deje de consumir son suicidios que deja de pagar la nación, estos dineros puede reinvertirlos en el beneficio de la comunidad como la creación de parques, escuelas, hospitales etc., lo que impacta de manera positiva el ámbito social mejorando la calidad de vida de los habitantes del archipiélago.

### 5.3 Comercial.

El usuario comercial los definimos como aquellos que presentan un consumo promedio mes de 2000 kwh/mes, con esta información modelamos una grafica de consumo con la cual se diseña un sistema solar fotovoltaico que solvente gran parte de la energía requerida durante el día, en la **gráfica 8** presentamos como es la curva de consumo promedio de un comercial en el departamento:

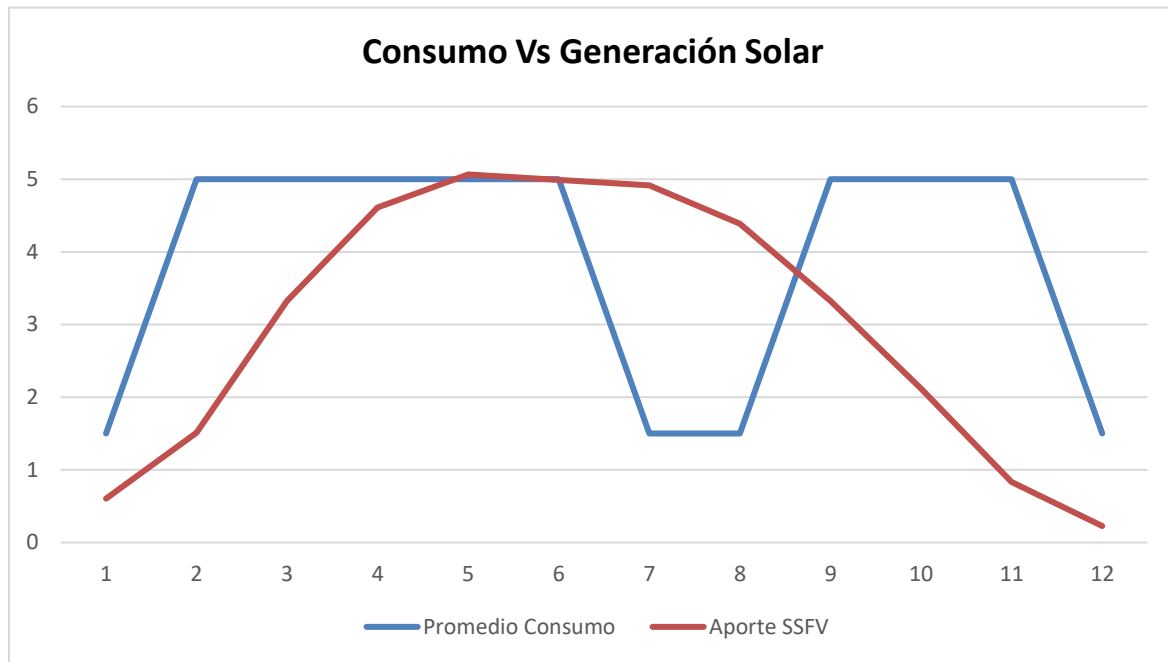
**gráfica 8. Consumo comercial**

**Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica vemos el consumo promedio de un usuario comercial, estos usuarios tienen la particularidad de que su consumo mas salto es en el horario cuando el almacén o local comercial esta abierto y presenta una baja significativa en los horarios de 11:00 am a 2:00 pm que es la hora en la que los trabajadores cierran el local y se van hacia sus casas.

Con esta información se diseño un sistema solar que tenga la capacidad de solventar la mayor energía posible en el día entregando como resultado un sistema solar compuesto con catorce (14) paneles solares monocristalinos de celda dividida con capacidad de generación de 600 Wp los que tendrían una capacidad instalada de 8.400 Wp, acompañado de sus sistema de inversión, protecciones, cableado y todas las actividades anexan que sean requerida para su instalación, se grafica la curva de generación y se traslapa con la curva de consumo promedio de los usuarios comerciales para poder analizar y determinar la idoneidad de la planta de generación, entregando como resultado la **gráfica 9** que se muestra a continuación:

**Gráfica 9. Consumo Vs Generación Solar**



**Fuente:** Elaboración propia

Definiendo el tamaño de la planta solar proseguimos a determinar el valor de esta planta para ese usuario, teniendo en cuenta valores de transporte mano de obra local y todos los valores asociados al montaje de un sistema solar fotovoltaica dentro del departamento. Para esta planta obtenemos CAPEX o costo de adquisición representado en la **tabla 15**.

**Tabla 15. Costos SSFV para usuarios comerciales**

Item	DESCRIPCION	UND.	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Sistema de Módulos Solares Fotovoltaicos	Glb	1	\$ 20.300.000,00	\$ 20.300.000,00
2	Elementos de Soporte y Fijación sistema solar Fotovoltaico	Glb	1	\$ 7.503.000,00	\$ 7.503.000,00
3	Conductores y Ducteria CC Sistema Fotovoltaico	Glb	1	\$ 3.421.900,00	\$ 3.421.900,00
4	Caja de Conexiones y Protecciones C.C. Sistema Fotovoltaico	Glb	1	\$ 4.565.400,00	\$ 4.565.400,00
5	Sistema de Conversión DC/AC	Glb	1	\$ 25.500.000,00	\$ 25.500.000,00
6	Materiales y Equipos para la Conexión de los Sistemas y Protecciones de C.A.	Glb	1	\$ 1.919.200,00	\$ 1.919.200,00
7	sistema de conexión a la red local	Glb	1	\$ 2.050.000,00	\$ 2.050.000,00
8	Sistema de apantallamiento	Glb	1	\$ 400.600,00	\$ 400.600,00
<b>TOTAL GASTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 65.660.100,00</b>

**Fuente:** propia

El precio inicial para el montaje de un sistema solar que cumpla con las necesidades de un usuario con este tipo de consumo es de aproximadamente sesenta y cinco millones seiscientos sesenta mil cien pesos (\$ 65.660.100,00).

El costo promedio de operación, mantenimiento y funcionamiento OPEX es de un millón cincuenta mil pesos (\$ 1.050.000,00) cada seis meses que es el tiempo prudente para la revisión, inspección y mantenimiento preventivo de estos sistemas dentro del archipiélago por alto grado de salinidad en el cual nos encontramos.

Debemos analizar cuanto se representa este consumo en valor a pagar en factura teniendo en cuenta que la energía en San Andrés es subsidiada (Res – MME 180069 de 2008 y 180196 de 2011) lo que quiere decir que el costo real de la energía es mas alto que el costo que paga el usuario, para la fecha de la investigación el Costo Unitario (Cu) de la energía era de mil ciento setenta y siete pesos (\$ 1177,00) (Res – GREG 160/2008 GREG 073/2009) de los cuales se subsidia un consumo para los usuarios comerciales en un 49,79% en promedio 20% menos de lo que se le subsidia al usuario normal en estratos 1 y 2 quiere decir que para un usuario comerciales que consumen un promedio de mas de 2000 kw/mes como lo planteamos en esta investigación debería pagar en factura de energía al precio neto de la energía un valor aproximado de dos millones trescientos cincuenta y cuatro mil pesos (\$ 2.354.000,00), pero la nación le subsidia el 49,79% lo que deja solamente un saldo por pagar por parte del usuario de un millón trescientos mil pesos (\$ 1.300.000,00) aproximadamente, esto sin la implementación de un sistema solar fotovoltaico, con el diseño planteado el usuario tendría un ahorro de la energía diurna del 92% y un ahorro mes de 74% lo que quiere decir que de esos millón trescientos mil pesos (\$ 1.300.000) solo pagaría en promedio trescientos treinta y ocho mil pesos (\$ 338.000,00).

Ahora debemos analizar los beneficios de lograr una independencia del sistema de distribución local del archipiélago el cual genera energía eléctrica a partir de fuentes fósiles, pero analicemos cual es el beneficio de esta independencia energética cuando por algún motivo la operadora de red local deja de suministrar energía durante 12 horas del día, usuario comercial, pierde un dinero el cual se debe cuantificar de manera positiva en la aplicación de la metodología, esta cuantificación incide es en las pérdidas que sufre el usuario comercial por no poder abrir su negocio a la venta por falta del fluido de energía, si tiene un negocio donde no venda artículos perecederos, es decir ropa

perfumes y demás, porque si es un negocio con artículos perecederos las pérdidas pueden ser mayores, de igual manera un negocio normalmente mediano puede vender al rededor de dos millones de pesos (\$2.000.000,00) ([https://camarasai.org/wp-content/uploads/ESTUDIO-ECONOMICO-CAMARASAI\\_2022.](https://camarasai.org/wp-content/uploads/ESTUDIO-ECONOMICO-CAMARASAI_2022.)), que sería el valor ganado por el comerciante al tener una dependencia energética y garantizar su fluido eléctrico lo que le garantiza el poder vender aun así exista alguna falla en el sistema de distribución local.

Teniendo claro el panorama económico y de subsidios es importante analizar los factores ambientales para esto empleamos una adaptación de la tabla de factores de la metodología Battelle – Culumbus con la intención de poder analizar los beneficios ambientales que puede presentar la aplicación de un sistema de generación solar fotovoltaicas para usuarios de estos estratos, para esto se presenta la **tabla 16**.

**Tabla 16. Factores ambientales**

Comercial			
Medio	Componente	Factor	Categoría
Físico	Geoformas	Geología	2
		Morfología	2
		Morfodinamica	2
		Morfoestructuras	2
	Paisaje	Visibilidad	6
		Estructuras	6
		Diversidad de Unidades	6
		Estética Característica	4
	Suelo	Uso	2
		Textura	2



		Fertilidad	2
		Nivel Friático	2
	Agua	Caudales	4
		Hidromorfología	4
		Volumen de Agua	4
		Calidad Fisicoquímica	4
		Calidad Bacteriológica	2
		Aguas Subterráneas	2
		Patrones de Drenaje	4
		Régimen Hidrológico	2
		Nivel Friático	2
	Atmosfera	Calidad del Aire	2
		Clima: Temperatura	2
		Clima: Precipitación	2
		Clima: Humedad	2
		Clima: Viento	2
		Clima: Radiación	2
		Clima y Microclimas	2
Ruido		2	
Biótico	Flora	Cobertura Vegetal	2
		Composición Vegetal	2
		Distribución de Flora	2

	Fauna	Diversidad Vegetal	2
		Diversidad de Fauna	2
		Cadenas Alimenticias	2
		Hábitat	2
		Población	2
		Hidrófana	2

**Fuente:** Elaboración propia

De la tabla anterior debemos analizar de que los sistemas solares no realizan gran afectación de manera negativa al medio ambiente, se afecta en gran medida el paisaje y la armonía de la naturaleza, estos usuarios a diferencia de los otros usuarios los estrato 1 y 2 no presentan tanta dependencia a la captación del agua lluvia de sus cubiertas porque la mayoría cubre su demanda de agua con captación de aguas subterráneas, pero de igual manera hay una afectación porque por la implementación de estas sistemas en sus cubiertas se modifica los patrones de caída lo que dificulta el rellenado de la agujeros y genera impacto negativo al medio ambiente. Desde una perspectiva mas amplia hay que hacer la comparación si se generara esta energía con las fuentes de generación convencionales (máquinas Diésel), las cuales por su naturaleza utilizan combustibles fáciles los cuales al momento de ocurrir algún siniestro suelen derramarse generando vertimiento de residuos aceitosos, lo que ocasiona costos como los son el kit de derrame que vale en promedio novecientos sesenta mil pesos (\$ 960.00,00) sin contar la posibilidad de contaminación de acuíferos o fuente de aguas subterráneas.

De igual manera se debe monetizar los impactos positivos generados tras la sustitución de generación de energía con fuentes no convencionales de energía, como primer costo seria los bonos de carbono que puede recibir por las toneladas de CO2 dejadas de emitir al medio ambiente que para el 2023 esta fijado en veinte mil quinientos pesos (\$ 20.500,00) (<https://www.larepublica.co/>), teniendo en consideración que un usuario estrato 6 que consume en promedio hasta 2000 kwh/mes requiere unos 30.000 gal de Diésel lo que genera alrededor de 2,97 Ton CO2, teniendo en cuenta que el

ahorro es del 74% para este usuario esto representa dejar de emitir 2,1978 Kg de CO<sub>2</sub> mensual al medio ambiente mes lo que en un año representa 26,37 Kg CO<sub>2</sub> que monetizado en bonos de carbono son quinientos cuarenta mil seiscientos cincuenta y ocho mil pesos (\$ 540.658,00) pesos anuales que recupero en beneficio el usuario. Otro impacto positivo que llega con la sustitución de la tecnología utilizada para generar energía es en la calidad del aire, a medida que se valla descontaminando el aire impacta positivamente al usuario reduciendo a la frecuencia de enfermedades respiratorias, lo que se refleja económicamente en compra de insumos médicos y días dejados de laborar, esta pérdida monetaria puede estar en valores que pueden oscilar desde cincuenta mil pesos (\$50.000,00) hasta doscientos mil pesos (\$ 200.000,00) dependiendo la gravedad de la afección respiratoria y las frecuencia con que falta al trabajo. Es importante mencionar la inversión anual que hace el gobierno por proteger el medio ambiente teniendo en cuenta que el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, declarado como Reserva de Biosfera Seaflower por el Secretariado del Man and Biosphere Program (MaB), de UNESCO (<https://www.coralina.gov.co>), invierten una cantidad considerable a la recuperación de la barrera coralina, que es la tercera mas grande del mundo y la primera mas grande de Colombia, para el año pasado el estado dispuso una suma de uno punto cuatro billones de pesos (1.4 billones) (<https://www.minambiente.gov.co/presupuesto>) presupuesto que se podría bajar considerablemente si con la aplicación de sistemas solares fotovoltaico se logra la disminución de la huella de carbono en el departamento.

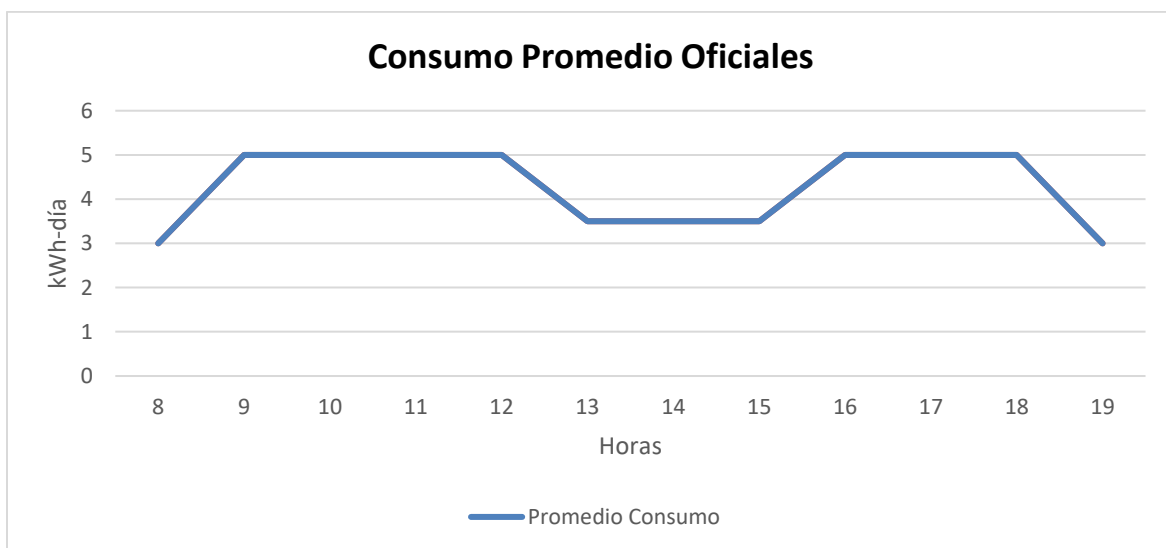
Un ultimo aspecto a analizar dentro de esta metodología es el aspecto social y cultural, tras la aplicación de esta tecnologías se crea oportunidades de empleo, el primer empleo que se genera es el de los transportadores que por trasladar catorce (14) paneles a San Andrés cobras de ochenta mil pesos (\$80.00,00) a un milla (\$ 1.000.000,00), luego hay que tener en cuenta el que lo traslada al sitio de trabajo o la vivienda que cobra entre treinta y cinco (\$ 35.000,00) hasta ciento cincuenta mil pesos (\$ 150.000,00), luego debemos tener en cuenta el albañil que haga el montaje de estructuras que cobra al redero de ciento diez mil (\$ 110.000,00) por riel (soporte de panel) montado y finalmente tenemos a los eléctrico o técnicos electricistas certificados que cobran por tendido eléctrico, conexión y armado de instalación eléctrica para un proyecto del tamaño del planta para estos usuarios alrededor de tres millones de pesos (\$ 3.000.000,0) por mano

de obra sin materiales, al punto que se quiere llegar es que estos costos contribuyen a la generación de empleo por la aplicación de estas tecnologías, es de mucha relevancia el tener en cuentas al momento de monetizar y determinar si la aplicación de un proyecto de energías renovables (sistema solar fotovoltaico) es o no beneficio dentro del departamento. Dentro de este aspecto social también cabe resaltar la importancia de los recursos dejados de girar o ahorrados por la nación debido a que la energía que se deje de consumir son suicidios que deja de pagar la nación, estos dineros puede reinvertirlos en el beneficio de la comunidad como la creación de parques, escuelas, hospitales etc., lo que impacta de manera positiva el ámbito social mejorando la calidad de vida de los habitantes del archipiélago.

## 5.4 Oficiales.

El usuario comercial los definimos como aquellos que presentan un consumo promedio mes de 2000 kw/mes, con esta información modelamos una grafica de consumo con la cual se diseña un sistema solar fotovoltaico que solvente gran parte de la energía requerida durante el día, en la **gráfica 10** presentamos como es la curva de consumo promedio de un comercial en el departamento:

**Gráfica 10. Consumo promedio oficiales**

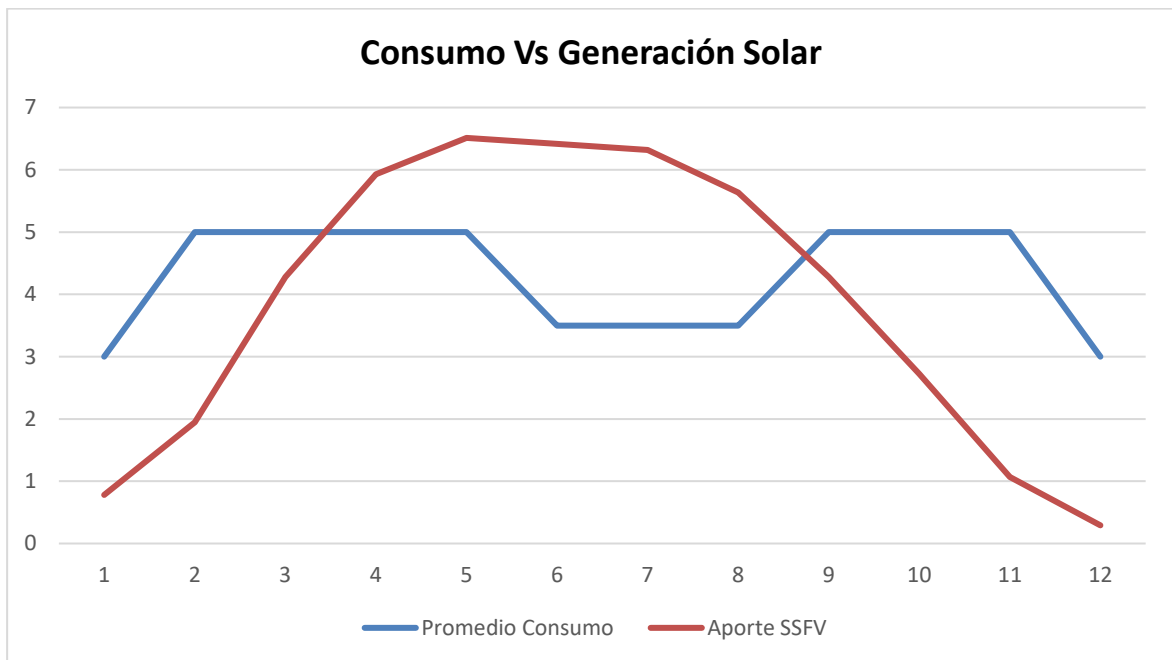


**Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica vemos el consumo promedio de un usuario oficiales, estos usuarios tienen la particularidad de que su consumo mas salto es en el horario laboral, porque etsan en la atención del publico o servicio a la comunidad dependiendo la dependencia y presenta una baja significativa en los horarios de 11:00 am a 2:00 pm que es la hora en la que los trabajadores suspenden sus funciones y se van hacías sus casas, aun así es un poco alta a comparación con el consumo promedio en horario laboral porque dejan muchos equipos encendido y no los apagan ni hacen uso eficiente de la energía.

Con esta información se diseño un sistema solar que tenga la capacidad de solventar la mayor energía posible en el día entregando como resultado un sistema solar compuesto con dieciocho (18) paneles solares monocristalinos de celda dividida con capacidad de generación de 600 Wp los que tendrían una capacidad instalada de 8.400 w, acompañado de sus sistema de inversión, protecciones, cableado y todas las actividades anexan que sean requerida para su instalación, se grafica la curva de generación y se traslapa con la curva de consumo promedio de los usuarios comerciales para poder analizar y determinar la idoneidad de la planta de generación, entregando como resultado la **gráfica 11** que se muestra a continuación:

**Gráfica 11. Consumo Vs Generación Solar**



**Fuente:** Elaboración propia

Definiendo el tamaño de la planta solar proseguimos a determinar el valor de esta planta para ese usuario, teniendo en cuenta valores de transporte mano de obra local y todos los valores asociados al montaje de un sistema solar fotovoltaica dentro del departamento. Para esta planta obtenemos CAPEX o costo de adquisición representado en la **tabla 17**.

Item	DESCRIPCION	UND.	CANT.	V. UNIT.	V. TOTAL
1	Sistema de Módulos Solares Fotovoltaicos	Glb	1	\$ 26.100.000,00	\$ 26.100.000,00
2	Elementos de Soporte y Fijación sistema solar Fotovoltaico	Glb	1	\$ 9.843.000,00	\$ 9.843.000,00
3	Conductores y Ductería CC Sistema Fotovoltaico	Glb	1	\$ 3.421.900,00	\$ 3.421.900,00
4	Caja de Conexiones y Protecciones C.C. Sistema Fotovoltaico	Glb	1	\$ 4.565.400,00	\$ 4.565.400,00
5	Sistema de Conversión DC/AC	Glb	1	\$ 35.500.000,00	\$ 35.500.000,00
6	Materiales y Equipos para la Conexión de los Sistemas y Protecciones de C.A.	Glb	1	\$ 1.919.200,00	\$ 1.919.200,00
7	sistema de conexión a la red local	Glb	1	\$ 2.050.000,00	\$ 2.050.000,00
8	Sistema de apantallamiento	Glb	1	\$ 400.600,00	\$ 400.600,00
<b>TOTAL GASTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 83.800.100,00</b>

**Tabla 17. Costos SSFV para usuarios comerciales**

**Fuente:** Elaboración propia

El precio inicial para el montaje de un sistema solar que cumpla con las necesidades de un usuario con este tipo de consumo es de aproximadamente ochenta y tres millones ochocientos mil cien pesos (\$ 83.800.100,00).

El costo promedio de operación, mantenimiento y funcionamiento OPEX es de un millón cincuenta mil pesos (\$ 1.050.000,00) cada seis meses que es el tiempo prudente para la revisión, inspección y mantenimiento preventivo de estos sistemas dentro del archipiélago por alto grado de salinidad en el cual nos encontramos.

Debemos analizar cuanto se representa este consumo en valor a pagar en factura teniendo en cuenta que la energía en San Andrés es subsidiada (Res – MME 180069 de 2008 y 180196 de 2011) lo que quiere decir que el costo real de la energía es mas alto que el costo que paga el usuario, para la fecha de la investigación el Costo Unitario (Cu) de la energía era de mil ciento setenta y siete pesos (\$ 1177,00) (Res – GREG 160/2008 GREG 073/2009) de los cuales se subsidia un consumo para los usuarios comerciales en un 49,79% en promedio 20% menos de lo que se le subsidia al usuario normal en

estratos 1,2 y 3 quiere decir que para un usuario oficial que consumen un promedio de mas de 2000 kw/mes como lo planteamos en esta investigación debería pagar en factura de energía al precio neto de la energía un valor aproximado de dos millones trescientos cincuenta y cuatro mil pesos (\$ 2.354.000,00), pero la nación le subsidia el 49,79% lo que deja solamente un saldo por pagar por parte del usuario de un millón doscientos mil pesos (\$ 1.200.000,00) aproximadamente, esto sin la implementación de un sistema solar fotovoltaico, con el diseño planteado el usuario tendría un ahorro de la energía diurna del 98% y un ahorro mes de 89% lo que quiere decir que de esos millón doscientos mil pesos (\$ 1.200.000,00) solo pagaría en promedio ciento treinta dos mil pesos (\$ 132.000,00).

Teniendo claro el panorama económico y de subsidios es importante analizar los factores ambientales para esto empleamos la tabla de factores de la metodología Battelle – Culumbus con la intención de poder analizar los beneficios ambientales que puede presentar la aplicación de un sistema de generación solar fotovoltaicas para usuarios de estos estratos, para esto se presenta la **tabla 18**.

**Tabla 18. Factores ambientales**

Oficiales			
Medio	Componente	Factor	Categoría
Físico	Geoformas	Geología	2
		Morfología	2
		Morfodinamica	2
		Morfoestructuras	2
	Paisaje	Visibilidad	6
		Estructuras	6
		Diversidad de Unidades	6
		Estética Característica	4
	Suelo	Uso	2

		Textura	2
		Fertilidad	2
		Nivel Friático	2
	Agua	Caudales	4
		Hidromorfología	4
		Volumen de Agua	4
		Calidad Fisicoquímica	4
		Calidad Bacteriológica	2
		Aguas Subterráneas	2
		Patrones de Drenaje	4
		Régimen Hidrológico	2
		Nivel Friático	2
	Atmosfera	Calidad del Aire	2
		Clima: Temperatura	2
		Clima: Precipitación	2
		Clima: Humedad	2
		Clima: Viento	2
		Clima: Radiación	2
		Clima y Microclimas	2
Ruido		2	
Biótico	Flora	Cobertura Vegetal	2
		Composición Vegetal	2



		Distribución de Flora	2
		Diversidad Vegetal	2
	Fauna	Diversidad de Fauna	2
		Cadenas Alimenticias	2
		Hábitat	2
		Población	2
		Hidrófana	2

**Fuente:** Elaboración propia

De la tabla anterior debemos analizar de que los sistemas solares no realizan gran afectación de manera negativa al medio ambiente, se afecta en gran medida el paisaje y la armonía de la naturaleza, estos usuarios a diferencia de los otros usuarios los estrato 1 y 2 no presentan tanta dependencia a la captación del agua lluvia de sus cubiertas porque la mayoría cubre su demanda de agua con captación de aguas subterráneas, pero de igual manera hay una afectación porque por la implementación de estas sistemas en sus cubiertas se modifica los patrones de caída lo que dificulta el rellenado de la agujeros y genera impacto negativo al medio ambiente. Desde una perspectiva mas amplia hay que hacer la comparación si se generara esta energía con las fuentes de generación convencionales (máquinas Diésel), las cuales por su naturaleza utilizan combustibles fáciles los cuales al momento de ocurrir algún siniestro suelen derramarse generando vertimiento de residuos aceitosos, lo que ocasiona costos como los son el kit de derrame que vale en promedio novecientos sesenta mil pesos (\$ 960.00,00) sin contar la posibilidad de contaminación de acuíferos o fuente de aguas subterráneas.

De igual manera se debe monetizar los impactos positivos generados tras la sustitución de generación de energía con fuentes no convencionales de energía, como primer costo seria los bonos de carbono que puede recibir por las toneladas de CO2 dejadas de emitir al medio ambiente que para el 2023 esta fijado en veinte mil quinientos pesos (\$ 20.500,00) (<https://www.larepublica.co/>), teniendo en consideración que un usuario estrato 6 que consume en promedio hasta 2000 kwh/mes requiere unos 30.000

gal de Diésel lo que genera alrededor de 2,97 Ton CO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que el ahorro es del 89% para este usuario esto representa dejar de emitir 2,6433 Kg de CO<sub>2</sub> mensual al medio ambiente mes lo que en un año representa 31,71 Kg CO<sub>2</sub> que monetizado en bonos de carbono son seiscientos cincuenta mil doscientos cincuenta y un mil pesos (\$ 650.251,00) pesos anuales que recupero en beneficio el usuario. Otro impacto positivo que llega con la sustitución de la tecnología utilizada para generar energía es en la calidad del aire, a medida que se valla descontaminando el aire impacta positivamente al usuario recudiendo a la frecuencia de enfermedades respiratorias, lo que se refleja económicamente en compra de insumos médicos y días dejados de laborar, esta perdida monetaria puede estar en valores que pueden oscilar desde cincuenta mil pesos (\$50.000,00) hasta doscientos mil pesos (\$ 200.000,00) dependiendo la gravedad de la afección respiratoria y las frecuencia con que falta al trabajo. Es importante mencionar la inversión anual que hace el gobierno por proteger el medio ambiente teniendo en cuenta que el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, declarado como Reserva de Biosfera Seaflower por el Secretariado del Man and Biosphere Program (MaB), de UNESCO (<https://www.coralina.gov.co>), invierten una cantidad considerable a la recuperación de la barrera coralina, que es la tercera mas grande del mundo y la primera mas grande de Colombia, para el año pasado el estado dispuso una suma de uno punto cuatro billones de pesos (1.4 billones) (<https://www.minambiente.gov.co/presupuesto>) presupuesto que se podría bajar considerablemente si con la aplicación de sistemas solares fotovoltaico se logra la disminución de la huella de carbono en el departamento.

Un ultimo aspecto a analizar dentro de esta metodología es el aspecto social y cultural, tras la aplicación de esta tecnologías se crea oportunidades de empleo, el primer empleo que se genera es el de los trasportadores que por trasladar dieciocho (18) paneles a San Andrés cobras de ochenta mil pesos (\$80.00,00) a un millo (\$ 1.000.000,00), luego hay que tener en cuenta el que lo traslada al sitio de trabajo o la vivienda que cobra entre treinta y cinco (\$ 35.000,00) hasta ciento cincuenta mil pesos (\$ 150.000,00), luego debemos tener en cuenta el albañil que haga el montaje de estructuras que cobra al redero de ciento diez mil (\$ 110.000,00) por riel (soporte de panel) montado y finalmente tenemos a los eléctrico o técnicos electricistas certificados que cobran por tendido eléctrico, conexión y armado de instalación eléctrica para un

proyecto del tamaño del planta para estos usuarios alrededor de tres millones de pesos (\$ 3.000.000,0) por mano de obra sin materiales, al punto que se quiere llegar es que estos costos contribuyen a la generación de empleo por la aplicación de estas tecnologías, es de mucha relevancia el tener en cuentas al momento de monetizar y determinar si la aplicación de un proyecto de energías renovables (sistema solar fotovoltaico) es o no beneficio dentro del departamento. Dentro de este aspecto social también cabe resaltar la importancia de los recursos dejados de girar o ahorrados por la nación debido a que la energía que se deje de consumir son suicidios que deja de pagar la nación, estos dineros puede reinvertirlos en el beneficio de la comunidad como la creación de parques, escuelas, hospitales etc., lo que impacta de manera positiva el ámbito social mejorando la calidad de vida de los habitantes del archipiélago.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

Llevando un orden en el análisis de la información mostrada en la anterior investigación se debe analizar y concluir la información conforme se mostro es decir analizando usuario por usuario, debido a que cada usuario consume la energía de manera diferente y por esto el diseño solar fotovoltaico diseñado para cada uno tiene diferentes resultados al igual que el análisis ambiental, todo esto hace que determinar el costo y los beneficios de cada usuario sea particular y con características diferentes.

**Tabla 19. Balance económico**

Cu	Usuario	Consumo	Subsidio	\$ Neto	\$ Subsidio	\$ Usuario	% SSFV	\$ Ahorrado	\$ SSFV
\$ 1.177,00	Estrato 1 y 2	100 a 800	68,28%	\$ 941.600,00	\$ 642.924,48	\$ 298.675,52	44%	\$ 131.417,23	\$ 167.258,29
	Estrato 6	1001 a 2000	49,79%	\$ 2.354.000,00	\$ 1.172.056,60	\$ 1.181.943,40	58%	\$ 685.527,17	\$ 496.416,23
	Comercial	mas de 2000	49,79%	\$ 2.354.000,00	\$ 1.172.056,60	\$ 1.181.943,40	74%	\$ 874.638,12	\$ 307.305,28
	Oficial	mas de 2000	49,79%	\$ 2.354.000,00	\$ 1.172.056,60	\$ 1.181.943,40	89%	\$ 1.051.929,63	\$ 130.013,77

**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente tabla se hace un análisis en donde se compara el CAPEX, el OPEX y se le restan los beneficios ambientales mencionados anteriormente para poder determinar cual es el ahorro real y como varia el retorno de la inversión con la aplicación de estos beneficios.

**Tabla 20. Balance Anual Costos Vs Beneficios Usuarios**

Usuario	CAPEX	OPEX	Benéficos Amb	ahorro	Total	Retorno 1	Retorno 2
Estrato 1 y 2	\$ 23.856.950,00	\$ 850.000,00	\$ 1.288.500,00	\$ 1.577.006,75	\$ 21.841.443,25	15	14
Estrato 6	\$ 42.304.950,00	\$ 950.000,00	\$ 1.583.801,00	\$ 8.226.326,06	\$ 33.444.822,94	5	4
Comercial	\$ 65.660.100,00	\$ 1.050.000,00	\$ 1.700.658,00	\$ 10.495.657,39	\$ 54.513.784,61	6	5
Oficial	\$ 83.800.100,00	\$ 1.050.000,00	\$ 1.810.251,00	\$ 12.623.155,51	\$ 70.416.693,49	7	6

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21. Balance Anual costo Vs Beneficio Nación**

Usuario	CAPEX	OPEX	\$ Neto	\$ Subsidio x Nacion	% SSFV	\$ Ahorrado	Pago subsidio
Estrato 1 y 2	\$ 23.856.950,00	\$ 850.000,00	\$ 941.600,00	\$ 642.924,48	44%	\$ 282.886,77	\$ 360.037,71
Estrato 6	\$ 42.304.950,00	\$ 950.000,00	\$ 2.354.000,00	\$ 1.172.056,60	58%	\$ 679.792,83	\$ 492.263,77
Comercial	\$ 65.660.100,00	\$ 1.050.000,00	\$ 2.354.000,00	\$ 1.172.056,60	74%	\$ 867.321,88	\$ 304.734,72
Oficial	\$ 83.800.100,00	\$ 1.050.000,00	\$ 2.354.000,00	\$ 1.172.056,60	89%	\$ 1.043.130,37	\$ 128.926,23

Fuente: Elaboración propia

- Los usuarios que entran en la categoría de estrato 1 y 2 son los que presentan menor costo en la instalación de un sistema solar fotovoltaico debido a su bajo consumo y por la manera en como usan la energía son usuarios que salen durante ocho horas del día de sus viviendas horas en las cuales el sistema solar esta generando e inyectando energía y ellos no lo están usando, cuando regresan a su casa es cuando a consumir energía pero ya el sistema solar esta dejando de generar la suficiente energía para ellos por eso el ahorro es solo de 44% lo que contemplando el CAPEX y OPEX les da un retorno a la inversión de 15 años, de igual manera las benéficos obtenidos son la calidad ambiental, posibilidad de generar empleo, diversificar su matriz energética y tener la posibilidad de en el futuro ampliar su planta solar y optimizar el uso de la energía. El principal beneficiario de que los usuarios de esto solventen parte de su energía con fotovoltaico es el estado porque debido a los altos porcentajes de subsidios que reciben estos usuarios al estado si se le hace representativo el ahorro, como se presenta en la **tabla 19** vemos como se pasa de un costo por energía neto de novecientos cuarenta y un mil pesos ( \$941.000,00) a pagar al final ciento sesenta y siete mil pesos ( \$ 167.000,00) una ahorro del 82% al final ahorro que se refleja en la nación y en el usuario. De igual manera se lora evidenciar que adicionándole los ahorros de los beneficios ambientales el usuario llega reducir esos años de 15 a 13 años en el retorno a la inversión,

- Los usuarios estrato 6 al igual que los usuarios estrato 1 y 2 también permanecen 8 horas fuera en la jornada laboral pero a Diferencia son usuarios que tienen servicios de ase, poda o servicios generales que están en sus viviendas por lo general en horas en las que ellos faltan lo que hace que el aprovechamiento del sistema solar sea mas provechoso para ellos, es mas recomendable para estos usuarios la implementación de estas tecnologías debido a que reciben mayor beneficio económico y tiene un retorno de la inversión aproximada de 5 años debido a su porcentaje de ahorro puede ser de 58% en facturación, logra pasar de un retorno a la inversión de 5 años a una de 4 años observamos como pasa de un valor neto de dos millones trescientos cincuenta y cuatro mil pesos (\$ 2.354.000.00) a un valor de cuatrocientos noventa y seis mil pesos (\$ 496.000,00) para un ahorro total del 78%
- Los usuarios que tienen la connotación comercial son usuarios que la operadora de red SOPESA se las asigno porque dentro del inmueble presentan una actividad económica, debido a Esto el comportamiento de su consumo es particular y todos son similares, varia es en la cantidad de energía por el tamaño del local comercial, pero todos manejan horario de 8:00 am a 12:00 pm y de 2:00 pm a 6:00 pm lo que hace que el aprovechamiento de la energía suministrada por el sistema solar sea mayor, esto se ve reflejado en el análisis luego de aplicar la metodología, en donde obtuvimos la posibilidad de ahorro de 74% y que se pasa de una facturación neta de dos millones trescientos cincuenta y cuatro mil pesos ( \$2.354.000.00) a un valor final por pagar con sistema de trescientos cuarenta y seis mil pesos ( \$ 346.000,00) lo que representa un ahorro total del 85% adicionalmente los comercios que implementen este sistema reciben reducción en impuesto y aranceles por parte de la Cámara de Comercio de San Andrés lo que entra a favor de la evaluación y permite obtener un retorno de la inversión de 6 y logran con su beneficios pasar a una de 4 años aproximadamente.
- Los usuarios oficiales son los usuarios que hacen o su manutención esta a cargo de la nación como lo esta la Gobernación Departamental, colegios oficiales, puestos de salud, etc. Estas entidades presentan un consumo elevado debido a que algunas trabajan 24 horas y otras tiene bastante personal trabajando o atienden a bastante usuarios lo que hace que su demando energética sea alta, de

igual manera por su forma de trabajar son las de mayor aprovechamiento de un sistema solar fotovoltaico en el ejercicio en esta investigación se pudo determinar que se obtiene un ahorro del 89% pasando de una facturación neta de dos millones trescientos cincuenta y cuatro mil pesos ( \$2.354.000.00) a una facturación con sistema solar de ciento treinta mil pesos (\$ 130.00,00) obteniendo un ahorro de 94% ahorro que beneficia únicamente al estado y que es el que mas beneficios obtiene debido a que si el dinero que se deje de pagar en servicio de energía o en subsidio para estos usuarios se invierte en otras actividades para se obtiene mucho mayor beneficio que el de un usuario particular y son los usuarios que reportan un retorno a la inversión en 7 años logran pasar a 5 años.

## 6.2 Recomendaciones

Se recomienda la sustitución progresiva de la dependencia del combustible fósil en el departamento, una opción que funciona es la energía solar fotovoltaica la cual permite obtener beneficios económicos y beneficios ambientales, de igual manera genera unos ahorros significativos para el estado cuando se refleja en el dinero dejado de pagar a la nación en subsidio y en combustible que se requiere para la generación de energía , en ese orden de idea se recomienda que el estado apalanque la inclusión masiva e estas tecnologías e incentive teniendo en cuenta que al final del ejercicio el mayor beneficiado es el debido a la cantidad de recurso y los beneficios ambientales que libera permitiendo la reinversión en el departamento, y la mejora de la calidad de vida de los habitantes del departamento .

# Bibliografía

Bouramdane, A.-A. (2023). Crafting an optimal portfolio for sustainable hydrogen production choices in Morocco. Obtenido de Crafting an optimal portfolio for sustainable hydrogen production choices in Morocco:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001623612302906X>

Olweus, E. (2023). Deep Neural Network Architectures for Detection and Segmentation of Solar Farms in Satellite Imagery. Obtenido de Deep Neural Network Architectures for Detection and Segmentation of Solar Farms in Satellite Imagery:  
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/3100618>

Giussani, P., Mazzucchelli, E. S., & Rigone, P. (2023). Innovative building envelopes with fibre-reinforced composite materials and BIPVs integrated technology: state of art and possible applications. Obtenido de Innovative building envelopes with fibre-reinforced composite materials and BIPVs integrated technology: state of art and possible applications: <https://re.public.polimi.it/handle/11311/1254697>

Fernández, E. F., & Pérez-Higueras. (2018). Photovoltaic System. Obtenido de Photovoltaic System:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photovoltaic-system>



- REN21. (2018). RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT. Obtenido de RENEWABLES 2018 GLOBAL STATUS REPORT: [https://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter\\_05/chapter\\_05/](https://www.ren21.net/gsr-2018/chapters/chapter_05/chapter_05/)
- Gorona del viento el Hierro, S. (s.f.). Gorona del viento el Hierro, S.A. Obtenido de Gorona del viento el Hierro, S.A: <https://www.goronadelviento.es/en/>
- Rau, G. H., & Baird, J. R. (2018). Negative-CO<sub>2</sub>-emissions ocean thermal energy conversion. Obtenido de Negative-CO<sub>2</sub>-emissions ocean thermal energy conversion: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211830532X>
- Rau, G. H. (2018). Negative-CO<sub>2</sub>-emissions ocean thermal energy conversion. Obtenido de Negative-CO<sub>2</sub>-emissions ocean thermal energy conversion: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211830532X#screen-reader-main-content>
- Vargas, D., & Leyre, L. (2023). Propuesta y diseño de una instalación de generación solar fotovoltaica para el apoyo de la recarga de vehículos eléctricos e híbridos en la ETS de Ingenieros de Telecomunicación (UPM). Obtenido de Propuesta y diseño de una instalación de generación solar fotovoltaica para el apoyo de la recarga de vehículos eléctricos e híbridos en la ETS de Ingenieros de Telecomunicación (UPM): <https://oa.upm.es/76454/>
- Calvillo, A. G. (2023). Estudio sobre las propiedades optoelectrónicas de la heteroestructura ZnO/CdS para su aplicación en celdas solares de CdTe. Obtenido de Estudio sobre las propiedades optoelectrónicas de la heteroestructura ZnO/CdS para su aplicación en celdas solares de CdTe: <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/9365>
- Ghosh, S. (2021). Future of photovoltaic technologies: A comprehensive review. Obtenido de Future of photovoltaic technologies: A comprehensive review: [https://www.researchgate.net/publication/352800147\\_Future\\_of\\_photovoltaic\\_technologies\\_A\\_comprehensive\\_review](https://www.researchgate.net/publication/352800147_Future_of_photovoltaic_technologies_A_comprehensive_review)
- Akrofi, M. M., Okitasari, M., & Qudrat-Ullah, H. (2023). Are households willing to adopt solar home systems also likely to use electricity more efficiently? Empirical

insights from Accra, Ghana. Retrieved from Are households willing to adopt solar home systems also likely to use electricity more efficiently? Empirical insights from Accra, Ghana:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723015007?via%3Dihub>

Barragán, A., Katherine, A., Miranda, G., & Sebastián, J. (2023). Análisis de Ciclo de Vida – ACV e Índices de Sostenibilidad Ambiental como Herramientas de Evaluación Ambiental de Paneles Solares del Proyecto “Parque Solar Fotovoltaico Guayepo 400 MW, su Línea de Evacuación 500 kV y Bahía de Conexión”. Retrieved from Análisis de Ciclo de Vida – ACV e Índices de Sostenibilidad Ambiental como Herramientas de Evaluación Ambiental de Paneles Solares del Proyecto “Parque Solar Fotovoltaico Guayepo 400 MW, su Línea de Evacuación 500 kV y Bahía de Conexión”: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/52469>

Bouramdane, A.-A. (2023). Crafting an optimal portfolio for sustainable hydrogen production choices in Morocco. Retrieved from Crafting an optimal portfolio for sustainable hydrogen production choices in Morocco:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001623612302906X>

Calvillo, A. G. (2023). Estudio sobre las propiedades optoelectrónicas de la heteroestructura ZnO/CdS para su aplicación en celdas solares de CdTe.

Retrieved from Estudio sobre las propiedades optoelectrónicas de la heteroestructura ZnO/CdS para su aplicación en celdas solares de CdTe:

<https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/9365>

Dinçer, F. (2011). The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. Retrieved from The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110003138>

Enlight. (2020). Beneficios económicos de los sistemas fotovoltaicos. Retrieved from Beneficios económicos de los sistemas fotovoltaicos:

<https://www.enlight.mx/blog/beneficios-economicos-de-los-sistemas-fotovoltaicos>

- Fernández, E. F., & Pérez-Higueras. (2018). Photovoltaic System. Retrieved from Photovoltaic System:  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photovoltaic-system>
- García-Valverde, R., Cherni, J. A., & Urbina, A. (2010). Life cycle analysis of organic photovoltaic technologies. Retrieved from Life cycle analysis of organic photovoltaic technologies: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.967>
- Gélvez, S., Lizarazo, E. C., & Joel, L. (2023). Diseño conceptual de ingeniería del proceso de producción de hidrógeno verde como mecanismo para contribuir a la estrategia de carbono neutralidad. Retrieved from Diseño conceptual de ingeniería del proceso de producción de hidrógeno verde como mecanismo para contribuir a la estrategia de carbono neutralidad:  
<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/13643>
- Ghosh, S. (2021). Future of photovoltaic technologies: A comprehensive review. Retrieved from Future of photovoltaic technologies: A comprehensive review:  
[https://www.researchgate.net/publication/352800147\\_Future\\_of\\_photovoltaic\\_technologies\\_A\\_comprehensive\\_review](https://www.researchgate.net/publication/352800147_Future_of_photovoltaic_technologies_A_comprehensive_review)
- Giussani, P., Mazzucchelli, E. S., & Rigone, P. (2023). Innovative building envelopes with fibre-reinforced composite materials and BIPVs integrated technology: state of art and possible applications. Retrieved from Innovative building envelopes with fibre-reinforced composite materials and BIPVs integrated technology: state of art and possible applications: <https://re.public.polimi.it/handle/11311/1254697>
- iea. (2023). Renewables 2018. Retrieved from Renewables 2018:  
<https://www.iea.org/reports/renewables-2018>
- IRENA. (2023). Finance & investment. Retrieved from Finance & investment:  
<https://www.irena.org/Energy-Transition/Finance-and-investment>
- IRENA. (n.d.). Asia and Pacific. Retrieved from Asia and Pacific:  
<https://www.irena.org/How-we-work/Asia-and-Pacific>
- IRENA. (n.d.). Latin America and Caribbean. Retrieved from Latin America and Caribbean: <https://www.irena.org/How-we-work/Latin-America-and-Caribbean>

Joshi, A. S., Dincer, I., & Reddy, B. V. (2009). Performance analysis of photovoltaic systems: A review. Retrieved from Performance analysis of photovoltaic systems: A review:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109000124>