



**Análisis comparativo de consumos energéticos en usuarios que implementaron sistemas de generación de energía solar para la gestión del autoconsumo**

Brigitte Andrea Rincón

Fabian Arley Gonzales

Juan Ricardo Orozco

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

julio de 2025

Análisis comparativo de consumos energéticos en usuarios que implementaron sistemas de generación de energía solar para la gestión del autoconsumo

Brigitte Andrea Rincón

Fabian Arley Gonzales

Juan Ricardo Orozco

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesora

Doris Amanda Rosero García

Microbióloga, M.Sc., PhD.

Posdoctorado en Microbiología Ambiental

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

julio de 2025

## Contenido

Lista de Tablas .....	6
Lista de Figuras.....	7
Lista de anexos.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción .....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1 Descripción del problema.....	14
1.2 La pregunta de Investigación .....	15
1.3 Los objetivos de Investigación.....	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 Justificación de la investigación.....	16
1.4.1 Relevancia Académica.....	17
1.4.2 Relevancia Científica .....	17
1.4.3 Relevancia Social.....	17
2. MARCO DE REFERENCIA.....	19
2.1. Marco de Antecedentes .....	19

	4
2.2. Marco Teórico .....	20
2.2.1 Irradiación Solar y Potencial Energético .....	20
2.2.2 Integración con la Red Eléctrica y Beneficios Regulatorios. ....	20
2.2.3 Reducción de Emisiones y Contribución Ambiental .....	21
2.3. Marco Normativo .....	21
3. METODOLOGÍA.....	23
3.1. Enfoque y Alcance de la Investigación .....	23
3.2. Población y Muestra .....	24
3.2.1. Definición De la Población .....	24
3.2.2. Cálculo y selección de la muestra .....	25
3.3. Instrumento.....	26
3.4. Descripción de Procedimientos .....	29
3.5. Análisis de Información.....	29
3.6. Consideraciones Éticas .....	30
3.6.1. Análisis de Consideraciones Éticas.....	30
4. RESULTADOS .....	32
5. DISCUSIÓN .....	41
6. CONCLUSIONES.....	43
7. RECOMENDACIONES .....	45
8. REFERENCIAS .....	47

ANEXOS ..... 50

## Lista de Tablas

Tabla 1.	Codificación de datos.....	27
Tabla 2.	Porcentajes de ahorro.....	28

## Lista de Figuras

Figura 1. Ahorros de todos los usuarios .....	39
---	----

## Lista de anexos

Anexo 1. Empresa ubicada en Tuluá, Valle del Cauca .....	50
Anexo 2. Empresa ubicada en Caldas, Antioquia .....	50
Anexo 3. Empresa ubicada en Anapoima, Cundinamarca .....	51
Anexo 4. Empresa ubicada en Barranquilla, Atlántico .....	51
Anexo 5. Empresa ubicada en Yopal, Casanare .....	52
Anexo 6. Empresa ubicada en Valledupar, César .....	52
Anexo 7. Empresa ubicada en La tebaida, Quindío .....	53
Anexo 8. Empresa ubicada en Barranquilla, Atlántico .....	53
Anexo 9. Empresa ubicada en Cali, Valle .....	54
Anexo 10. Empresa ubicada en Medellín, Antioquia .....	54
Anexo 11. Empresa ubicada en Palmira, Valle del Cauca .....	55
Anexo 12. Empresa ubicada en Yopal, Casanare .....	55
Anexo 13. Empresa ubicada en Barranquilla, Atlántico. ....	56
Anexo 14. Empresa ubicada en Itagüí, Antioquía.....	56
Anexo 15. Empresa ubicada en Ibagué, Tolima .....	57
Anexo 16. Empresa ubicada en Chaparral, Tolima.....	57
Anexo 17. Empresa ubicada en Medellín, Antioquia .....	58
Anexo 18. Empresa ubicada en Barranquilla, Atlántico .....	58

## Resumen

La presente investigación mediante una metodología cuantitativa y un diseño descriptivo examina los efectos que tiene en las empresas colombianas la inclusión de energías fotovoltaicas y su impacto en ellas después de su instalación, se analizaron 126 facturas correspondientes a 18 empresas para evaluar los patrones de consumo energético antes y después de incorporar paneles solares. Los hallazgos muestran una disminución significativa en el consumo energético. El resultado destaca que un 83% de los casos logró ahorros entre el 60% y hasta un 100%. Más allá del beneficio financiero, este estudio evidencia cómo estas soluciones energéticas sostenibles fortalecen la responsabilidad ambiental de cada una de las compañías. La investigación se apoya en el marco legal colombiano, especialmente en la ley 1715 de 2014 y la resolución 174 de 2021, que fomentan la producción de energía con el uso de fuentes renovables en lugar de depender de grandes empresas de energía. En conclusión, la autogeneración fotovoltaica no solo le permitirá a la empresa optimizar costos, sino que le ayudará a promover a una transformación hacia modelos empresariales sostenibles.

Palabras clave: Energía Fotovoltaica, generación distribuida, eficiencia energética, sostenibilidad corporativa.

### **Abstract**

This research, employing a quantitative methodology and descriptive design, examines the effects of incorporating photovoltaic energy on Colombian companies and their impact on them following its installation. One hundred twenty-six invoices corresponding to 18 companies were analyzed to evaluate the energy consumption patterns before and after the incorporation of solar panels. The findings show a significant decrease in energy consumption, with the result highlighting that 83% of cases achieved savings of between 60% and 100%. Beyond the financial benefits, this study demonstrates how these sustainable energy solutions enhance the environmental responsibility of each company. The research is supported by the Colombian legal framework, specifically Law 1715 of 2014 and Resolution 174 of 2021, which encourage the production of energy using renewable sources instead of relying on large energy companies. In conclusion, photovoltaic self-generation will not only enable the company to optimize costs but also promote a transformation towards sustainable business models.

**Keywords:** Photovoltaic energy, distributed generation, energy efficiency, corporate sustainability.

## Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente del consumo energético representa un desafío fundamental para la industria colombiana, impulsado por la imperante necesidad de reducir costos operativos y minimizar el impacto ambiental. La matriz de generación del Sistema Interconectado Nacional (SIN) para el primer semestre de 2024 se sustenta predominantemente en recursos hídricos (63.7%) y térmicos (30.2%), con una participación aún limitada del recurso solar (6.1%). Esta dependencia de fuentes convencionales expone al país a la vulnerabilidad climática, donde fenómenos como las épocas de sequía reducen los niveles de los embalses y provocan un aumento en los precios de la energía. Adicionalmente, el uso de recursos térmicos conlleva grandes impactos por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), lo que contradice las metas de descarbonización y sostenibilidad establecidas en acuerdos internacionales como el de París (Naciones Unidas, 2015, p.9).

Ante este escenario, la energía solar fotovoltaica (FV) emerge como una innovación tecnológica clave, reconocida por su crecimiento, eficiencia, economía y amigabilidad con el medio ambiente. Se ha convertido en una de las fuentes renovables con mayor potencial de crecimiento, contribuyendo a la descarbonización del sector de la construcción y ofreciendo un ahorro significativo de costos al no emitir GEI durante su operación.

Este estudio se alinea con la sub línea de investigación "Innovación, sostenibilidad empresarial y valor compartido", cuyo objetivo principal es aportar al desarrollo empresarial del país a través de la investigación enfocada en estos pilares. La gerencia de proyectos, entendida como una herramienta instrumental para el logro de objetivos empresariales, se convierte en la plataforma para alcanzar este fin.

La justificación de esta investigación radica en su relevancia económica, ambiental, académica y social. A nivel económico, se espera una reducción significativa en los costos energéticos, lo que mejora la competitividad de las empresas y permite la reasignación de recursos a otras operaciones clave. Desde una perspectiva ambiental, la promoción de fuentes de energía renovable contribuye directamente a la sostenibilidad y mitigación del cambio climático, reduciendo las emisiones de GEI y fomentando un entorno más saludable. En el ámbito académico, este estudio ofrece una oportunidad para investigar el impacto de las energías renovables en la industria colombiana y el mercado energético, aportando nuevas metodologías en ingeniería, sostenibilidad y gestión empresarial. Finalmente, la relevancia social se manifiesta en el impacto directo en la comunidad y el entorno empresarial, ya que las empresas que adoptan prácticas sostenibles se convierten en modelos a seguir, promoviendo una cultura empresarial responsable y empoderando a otros actores locales a considerar alternativas similares. Este estudio, por tanto, representa una solución práctica para mitigar costos energéticos y una oportunidad para promover un cambio hacia prácticas más sostenibles en el sector industrial colombiano.

El marco de referencia de este estudio abarca la revisión de antecedentes sobre la gestión eficiente del consumo energético y el análisis de facturas de servicios públicos para obtener una comprensión profunda del uso de la energía. El marco teórico profundiza en los aspectos técnicos y económicos de la autogeneración solar, incluyendo el potencial de irradiación solar, las tecnologías fotovoltaicas, la resistencia estructural, los sistemas de seguimiento solar, la integración con la red eléctrica y el almacenamiento de energía, así como los ahorros proyectados y la reducción de emisiones. El marco normativo se centra en la Ley 1715 de 2014 y

la Resolución 174 de 2021 de la CREG, que regulan e incentivan la autogeneración y la integración de energías renovables en Colombia.

La metodología de esta investigación se basa en un enfoque cuantitativo y un diseño descriptivo, centrándose en la recopilación y el análisis de datos concretos y medibles, como consumos y costos tarifarios. La población se concentró en empresas colombianas, y la muestra incluyó a 18 usuarios que implementaron soluciones de autogeneración fotovoltaica. Se recopilaron siete facturas de servicio de energía eléctrica por cada usuario, totalizando 126 facturas, para obtener datos comparativos de consumo antes y después de la implementación del sistema solar. El análisis de la información se realizó utilizando Microsoft Excel, creando gráficos de líneas para visualizar la evolución del consumo y aplicando herramientas como promedios móviles, cálculo de porcentajes de ahorro y tablas dinámicas para comparar periodos pre y post-instalación.

Los resultados del estudio revelan que la implementación de sistemas solares fotovoltaicos generó una reducción significativa en el consumo energético, lo que se tradujo en una disminución del costo mensual de energía eléctrica. El análisis general mostró que el 61% de los usuarios alcanzaron ahorros entre el 60% y el 80%, y un notable 83% de la muestra logró reducciones sustanciales entre el 60% y el 100% en su consumo energético. Estos hallazgos confirman el alto impacto positivo del sistema solar en términos de eficiencia energética y ahorro económico, validando su efectividad como una solución sostenible.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción del problema

En los últimos años, el costo de la energía eléctrica se ha convertido en un factor crítico para la competitividad de las empresas industriales en Colombia. Este problema se intensifica debido a la alta volatilidad del sistema energético nacional y a su marcada dependencia de fuentes hídricas, las cuales se ven directamente afectadas por variaciones climáticas como el fenómeno del Niño (Gómez, 2020). Estas condiciones elevan el riesgo de desabastecimiento, aumentan los costos de generación y dificultan la planificación financiera de las organizaciones.

Una de las estrategias más relevantes para contrarrestar estos efectos ha sido la implementación de sistemas de autogeneración con fuentes no convencionales de energía, especialmente solar fotovoltaica. Este tipo de soluciones ha sido ampliamente promovido en contextos internacionales y locales como una vía para reducir los impactos ambientales y mejorar la eficiencia energética de las organizaciones. Según Ramírez (2018), la energía solar permite a las empresas avanzar hacia modelos más sostenibles, disminuyendo su dependencia de la red eléctrica convencional y estabilizando sus costos operativos. Además, su implementación contribuye a los compromisos globales de mitigación del cambio climático y a la transición hacia una economía baja en carbono.

Diversos estudios han evidenciado que, si bien la autogeneración puede generar beneficios económicos y ambientales, estos dependen de múltiples factores como el diseño del sistema, la capacidad instalada, el perfil de consumo energético de la empresa y el marco normativo vigente (Montoya, 2019). A pesar de estos avances, en el contexto colombiano

persiste una carencia de investigaciones que analicen de manera empírica y comparativa el comportamiento del consumo energético antes y después de la implementación de dichos sistemas. Esta falta de evidencia limita la toma de decisiones informadas por parte de las empresas interesadas en adoptar este tipo de tecnología y reduce la efectividad de las políticas públicas orientadas a fomentar la transición energética.

En consecuencia, se identifica como problema central la ausencia de estudios comparativos sobre el impacto real de la autogeneración solar fotovoltaica en el consumo y los costos energéticos de las empresas en Colombia, lo cual justifica el desarrollo de esta investigación.

## **1.2 La pregunta de Investigación**

¿Cómo impacta la implementación de sistemas de generación de energía solar en las empresas colombianas en relación con su consumo de energía para mitigación de sus costos?

## **1.3 Los objetivos de Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

Analizar cómo la optimización del consumo energético y la mitigación de costos, resultantes de la adopción de la autogeneración solar fotovoltaica, contribuyen a la sostenibilidad

empresarial y a la generación de valor compartido en las empresas colombianas, más allá del ahorro económico directo.

### 1.3.2 **Objetivos Específicos**

Identificar empresas colombianas que han implementado sistemas de autogeneración solar fotovoltaica, recopilando datos comparativos de sus consumos energéticos y costos operativos en periodos previos y posteriores a la adopción de esta innovación tecnológica

Cuantificar la optimización del consumo energético y la mitigación de costos económicos logrados por las empresas colombianas, mediante el análisis comparativo detallado de sus datos históricos de facturación de energía eléctrica tras la implementación de la autogeneración solar fotovoltaica

## 1.4 **Justificación de la investigación**

Por la importancia de implementar un sistema de generación de energía solar de autoconsumo en usuarios de alto consumo no solo es relevante desde una perspectiva económica, sino que también tiene implicaciones significativas en los ámbitos académico, científico y social. A continuación, se detallan las razones que justifican este estudio y los aportes que sus resultados pueden generar a la comunidad.

#### 1.4.1 **Relevancia Académica**

Desde lo académico, se proporciona una oportunidad para investigar y analizar el impacto de las energías renovables en la industria colombiana y el mercado de energía en el SIN. La generación de energía solar es un tema de creciente interés en el contexto global y el mercado de energía es un tema crucial por su impacto y bienestar social, y sus estudios contribuye al desarrollo de nuevas metodologías y enfoques en la enseñanza de la ingeniería, la sostenibilidad y la gestión empresarial.

#### 1.4.2 **Relevancia Científica**

El estudio del sistema de energía solar fotovoltaica en la industria representa una contribución significativa al conocimiento científico sobre la viabilidad y eficiencia de las tecnologías renovables en condiciones específicas del mercado colombiano. Al realizar un análisis detallado del marco regulatorio y su interacción con la implementación de sistemas de autoconsumo, el proyecto puede ofrecer datos valiosos que ayuden a mejorar las políticas energéticas y fomentar la investigación sobre soluciones innovadoras para el sector energético. Asimismo, se pueden generar estudios comparativos que evalúen el rendimiento de diferentes tecnologías solares en diversas regiones del país.

#### 1.4.3 **Relevancia Social**

Socialmente, estos proyectos tienen un impacto directo en la comunidad local y en el entorno empresarial. La reducción de costos energéticos permitirá a la industria mejorar su

competitividad, lo que puede traducirse en mayores inversiones y generación de empleo.

Además, al adoptar prácticas sostenibles, la empresa se convierte en un modelo a seguir para otras industrias, promoviendo una cultura empresarial responsable con el medio ambiente. Así mismo, la implementación de un sistema solar fotovoltaico puede inspirar a otras empresas a considerar alternativas energéticas renovables, lo que contribuiría a una mayor conciencia sobre la importancia del uso sostenible de los recursos naturales. Esto es especialmente relevante en un país como Colombia, donde la dependencia de fuentes fósiles aún es alta y donde se busca diversificar la matriz energética.

Los resultados del proyecto no solo beneficiarán a la industria, sino que también tendrán repercusiones positivas en la comunidad. La promoción de energías limpias contribuirá a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorando así la calidad del aire y fomentando un entorno más saludable para todos. Además, al generar conciencia sobre el uso eficiente de la energía y las posibilidades que ofrecen las energías renovables, se empoderará a otros actores locales para que consideren alternativas similares.

Este estudio se justifica por su potencial para generar conocimiento valioso tanto a nivel académico como científico y por su capacidad para impactar positivamente en la comunidad local. La implementación de un sistema solar fotovoltaico no solo representa una solución práctica para mitigar costos energéticos, sino también una oportunidad para promover un cambio hacia prácticas más sostenibles en el sector industrial colombiano.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

### **2.1. Marco de Antecedentes**

El estudio realizado por Sánchez et al. (2018), evidencia una propuesta de mejora al proceso de facturación de servicios de terceros en Empresas Públicas de Medellín (EPM). Se trató de una investigación de tipo descriptivo, donde se empleó como instrumento una revisión documental y entrevistas semiestructuradas. Los hallazgos identificaron deficiencias en el control de cobros, como la omisión de retenciones y problemas con los intereses. La investigación propuso una solución basada en la integración de estos servicios en el sistema de facturación principal para garantizar la legalidad y eficiencia en la generación de documentos, mejorando así la gestión administrativa y financiera.

Por otra parte, la investigación desarrollada por Montesino y Mejía (2017), en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), abordó el impacto ambiental de las fuentes no renovables y la necesidad de transitar hacia energías limpias. Se trató de un estudio descriptivo con enfoque documental, en el que se analizaron políticas energéticas y casos internacionales. Entre los principales hallazgos se destaca el avance de Colombia en la adopción de energía solar, gracias a la Ley 1715 de 2014 y otros proyectos impulsados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP). El estudio concluye que la energía solar es una alternativa estratégica para el desarrollo sostenible, tanto por su bajo impacto ambiental como por su capacidad de ahorro a largo plazo.

Finalmente, Bermúdez y López (2023), desde la Universidad Cooperativa de Colombia, desarrollaron una investigación de tipo mixto (descriptivo-correlacional) para evaluar la viabilidad de implementar un sistema de autogeneración solar en la empresa Inversiones AGA Colombia. El estudio utilizó instrumentos técnicos como simulaciones energéticas y análisis financieros. Se propuso instalar 250 paneles solares de 200 W para cubrir el consumo energético, estimando un ahorro mensual del 30% al 50%. Además del beneficio económico, el estudio destacó la reducción de emisiones contaminantes y la posibilidad de optimizar procesos productivos, concluyendo que la energía solar representa una solución efectiva y sostenible para empresas industriales.

## **2.2. Marco Teórico**

### **2.2.1 Irradiación Solar y Potencial Energético.**

La irradiación solar es la base del funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, ya que determina la cantidad de energía que puede ser captada y transformada en electricidad. En Colombia, el recurso solar es abundante, especialmente en regiones con alta radiación como la Costa Caribe, los Llanos Orientales y el norte del país. Este potencial debe evaluarse con datos a nivel del suelo para asegurar un dimensionamiento adecuado de los sistemas solares, lo que influye directamente en su eficiencia y viabilidad (Puga-Gil et al., 2022).

### **2.2.2 Integración con la Red Eléctrica y Beneficios Regulatorios.**

En Colombia, la integración de los sistemas de autogeneración solar con la red eléctrica está regulada por la Ley 1715 de 2014 y la Resolución 174 de 2021 de la CREG. Estas

normativas permiten a los autogeneradores entregar excedentes de energía a la red, obtener créditos energéticos y acceder a beneficios tributarios. Esta posibilidad técnica y legal convierte a la autogeneración en una estrategia no solo ambientalmente responsable, sino también económicamente atractiva para las empresas (Resolución 174, 2021 CREG).

### **2.2.3 Reducción de Emisiones y Contribución Ambiental**

Uno de los principales beneficios de la energía solar fotovoltaica es la reducción directa de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La instalación de sistemas solares en edificaciones industriales o comerciales evita el uso de fuentes de energía convencionales, contribuyendo así a los objetivos de descarbonización. Esta práctica no solo mejora el perfil ambiental de las empresas, sino que también cumple con compromisos globales como el Acuerdo de París (Dixit et al., 2023).

## **2.3. Marco Normativo**

En Colombia, el marco legal que regula la autogeneración de energía eléctrica mediante fuentes renovables se fundamenta principalmente en la Ley 1715 de 2014 y en la Resolución 174 de 2021 de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

La Ley 1715 de 2014 tiene como propósito promover el desarrollo y uso de fuentes no convencionales de energía, especialmente las renovables, dentro del sistema energético nacional. Esta ley establece que los usuarios pueden generar energía para su propio consumo y entregar excedentes a la red, accediendo a incentivos como depreciación acelerada, exclusión del IVA y

deducción del impuesto sobre la renta para los activos utilizados en estos sistemas (Ley 1715, 2014).

Por su parte, la Resolución 174 de 2021 de la CREG reglamenta la conexión de sistemas de autogeneración a pequeña escala (hasta 1 MW) y la generación distribuida. Esta normativa permite la entrega de excedentes energéticos a la red mediante medición bidireccional, define los requisitos técnicos y simplifica los procedimientos de conexión, lo cual facilita la participación de empresas en la transición energética del país (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Enfoque y Alcance de la Investigación**

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, se basa en la recopilación de datos concretos y medibles, como consumos, y costos tarifarios, con la recolección de estos datos se pudo determinar de forma confiada el cómo sería la implementación ya que se entendió cómo funciona esta tecnología en la práctica.

El tipo de estudio es descriptivo ya que busca explicar en detalle las características y las propiedades del uso los sistemas de generación solar fotovoltaica, porque busca entender el cómo estos sistemas se ajustan a las verdaderas necesidades de las empresas, evaluando aspectos técnicos económicos y los impactos ambientales generados por esta tecnología.

## **3.2. Población y Muestra**

### **3.2.1. Definición De la Población**

La investigación se centró en 18 empresas colombianas ubicadas en diferentes zonas del país, considerando las variables climáticas, geográficas y económicas propias de cada región. Se adoptaron soluciones específicas adaptadas a las necesidades locales, dado el alto potencial de irradiación solar y las características estructurales de las empresas en esta zona.

En cuanto a los límites temáticos de esta investigación, no se aborda el diseño, la viabilidad técnica y económica de sistemas de generación solar fotovoltaica para autoconsumo. Esto incluye el análisis de la irradiación solar, la resistencia estructural de las instalaciones y la selección adecuada de la tecnología fotovoltaica a implementar. Se asume que el constructor, realice un análisis económico basado en el costo-beneficio, enfocado en la reducción de costos energéticos para las empresas que adopten esta tecnología. Otro aspecto relevante es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental. Además, se examina el marco legal vigente, incluyendo la Ley 1715 de 2014 y la Resolución 174 de 2021, en relación con la implementación de energías renovables en Colombia.

La relevancia de nuestra investigación se manifiesta en varios niveles. A nivel económico, se espera lograr una significativa reducción en los costos energéticos, mejorando la competitividad de las empresas que adopten esta solución, al permitirles destinar dichos recursos a otros aspectos clave de sus operaciones. A nivel ambiental, la promoción del uso de fuentes de energía renovable contribuirá directamente a la sostenibilidad y la mitigación del cambio

climático en la región. Finalmente, a nivel académico, esta investigación proporcionará datos relevantes que podrán ser utilizados como base para futuros estudios sobre energías renovables y su implementación en contextos similares.

### **3.2.2. Cálculo y selección de la muestra**

Con el objetivo de analizar el impacto de la implementación de proyectos con paneles solares AGPE en el consumo energético, se llevó a cabo un proceso de recolección de información detallada sobre el comportamiento del servicio de energía eléctrica de un grupo de usuarios beneficiarios. En total, se seleccionaron 18 usuarios que han adoptado soluciones de generación fotovoltaica mediante los paneles AGPE.

Para cada uno de estos usuarios, se recopilaron siete facturas de servicio de energía eléctrica, correspondientes a diferentes periodos de facturación. Esto permitió obtener una muestra representativa y temporalmente distribuida del consumo energético antes y/o después de la implementación del sistema solar. En total, se recolectaron 126 facturas (18 usuarios  $\times$  7 facturas por usuario).

### 3.3. Instrumento

La recolección de estas facturas se realizó a través del portal web oficial de la empresa prestadora del servicio de energía, Vatia S.A. E.S.P., utilizando la herramienta disponible en la sección “Conoce tu factura”, accesible mediante el siguiente enlace:

“<https://vatia.com.co/Conoce-tu-factura/#shortcuts-popup>”. Este portal permite a los usuarios consultar y descargar sus facturas electrónicas, lo que facilitó el acceso a la información necesaria para el análisis.

**Tabla 1. Codificación de datos**

	<b>AHORROS ENTRE 0 - 20%</b>	<b>AHORROS ENTRE 20 - 40%</b>	<b>AHORROS ENTRE 40 - 60%</b>	<b>AHORROS ENTRE 60 - 80%</b>	<b>AHORROS ENTRE 80 - 100%</b>
<b>CODIGOS</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>
USUARIO 1	-	-	-	X	-
USUARIO 2	-	X	-	-	-
USUARIO 3	-	-	-	X	-
USUARIO 4	-	-	-	X	-
USUARIO 5	-	-	-	X	-
USUARIO 6	-	-	-	X	-
USUARIO 7	-	-	-	-	X
USUARIO 8	-	-	X	-	-
USUARIO 9	-	-	-	-	X
USUARIO 10	-	-	-	X	-
USUARIO 11	-	-	-	X	-
USUARIO 12	-	-	-	X	-
USUARIO 13	-	X	-	-	-
USUARIO 14	-	-	-	X	-
USUARIO 15	-	-	-	X	-
USUARIO 16	-	-	-	-	X
USUARIO 17	-	-	-	X	-
USUARIO 18	-	-	-	-	X
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>4</b>

**Fuente: Los autores.**

**Tabla 2. Porcentajes de ahorro**

USUARIOS	CICLOS DE FACTURACION							PROMEDIO CICLOS 1-3	PROMEDIO CICLOS 5-7	PORCENTAJE DE AHORRO
	202302	202303	202304	202305	202306	202307	202308			
USUARIO 1	10.541	10.636	10.154	12.248	6.561	6.788	6.879	10.444	6.743	65%
USUARIO 2	26.779	21.793	18.572	16.286	4.378	3.817	7.347	22.676	5.181	23%
USUARIO 3	42.874	39.906	43.038	40.426	36.105	22.502	32.099	41.939	30.235	72%
USUARIO 4	13.013	15.846	13.422	7.040	9.844	7.853	8.679	14.430	8.792	61%
USUARIO 5	220.939	239.022	270.392	198.892	159.040	129.547	157.350	243.451	148.646	61%
USUARIO 6	16.920	15.103	17.883	10.480	13.526	10.008	8.309	16.635	10.614	64%
USUARIO 7	107.519	108.153	115.169	93.652	87.302	85.707	94.963	111.661	89.324	80%
USUARIO 8	4.444	4.385	4.251	3.587	1.952	1.938	1.972	4.360	1.954	45%
USUARIO 9	26.046	23.498	19.212	21.223	18.196	18.949	18.219	22.919	18.455	81%
USUARIO 10	33.241	32.082	33.242	29.991	24.930	21.283	27.688	32.855	24.634	75%
USUARIO 11	15.854	14.776	14.115	11.937	11.583	11.661	10.553	14.915	11.266	76%
USUARIO 12	34.579	36.323	33.770	28.941	20.154	20.562	22.826	34.891	21.181	61%
USUARIO 13	35.048	34.515	38.341	32.925	22.293	7.617	8.001	35.968	12.637	35%
USUARIO 14	57.007	52.454	52.927	46.709	40.401	43.965	38.623	54.967	40.996	75%
USUARIO 15	23.004	20.918	21.632	23.106	16.318	13.672	14.717	21.851	14.902	68%
USUARIO 16	18.018	18.026	17.328	16.515	14.119	14.846	13.546	17.791	14.196	80%
USUARIO 17	16.275	18.456	16.550	10.486	12.182	10.938	11.716	17.094	11.612	68%
USUARIO 18	23.569	22.143	20.616	18.749	19.573	17.996	16.556	22.109	18.042	82%

	AHORROS ENTRE 0 - 20%	AHORROS ENTRE 20 - 40%	AHORROS ENTRE 40 - 60%	AHORROS ENTRE 60 - 80%	AHORROS ENTRE 80 - 100%
<b>CODIGOS</b>	01	02	03	04	05
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>4</b>

Fuente: Los autores.

### **3.4. Descripción de Procedimientos**

A partir de las facturas recolectadas de cada cliente, se procedió a extraer y analizar los datos de consumo energético correspondientes a cada uno de los ciclos de facturación registrados. Este proceso se realizará con el objetivo de evaluar de manera precisa el comportamiento del consumo eléctrico antes y después de la implementación del sistema solar fotovoltaico. Para ello, se seleccionaron cuidadosamente facturas que abarcan periodos previos y posteriores a la instalación, lo que permitirá realizar una comparación directa y fundamentada del impacto del sistema en la demanda energética del usuario. Esta información será clave para determinar la eficiencia del sistema instalado, así como para identificar posibles patrones de ahorro o variaciones en el consumo a lo largo del tiempo.

### **3.5. Análisis de Información**

Una vez recopiladas las facturas de los 18 usuarios seleccionados, se procedió a organizar y analizar los datos de consumo energético correspondientes a cada uno. Cada usuario cuenta con 7 cuentas de servicio, lo que proporciona un total de 126 series de datos individuales que abarcan distintos ciclos de facturación.

El análisis se llevará a cabo utilizando Microsoft Excel, una herramienta versátil que permite la manipulación, visualización y comparación de datos de manera eficiente.

### **3.6. Consideraciones Éticas**

#### **3.6.1. Análisis de Consideraciones Éticas**

Las consideraciones éticas en la investigación sobre la reducción del consumo energético mediante sistemas de autogeneración solar fotovoltaica son fundamentales para garantizar un estudio transparente, justo y con impacto positivo. En primer lugar, dentro del proyecto se aplicará el principio de consentimiento informado, asegurando que las empresas participantes comprendan plenamente el propósito del estudio, la recopilación de sus datos de consumo energético y costos operativos, y el uso de los resultados obtenidos. La protección de la privacidad y confidencialidad es clave, por lo que se implementarán medidas para garantizar que la información empresarial sea tratada con discreción y alineada con regulaciones de protección de datos. Asimismo, la investigación debe seguir un rigor metodológico, evitando sesgos en la recopilación y análisis de los datos, y garantizando una interpretación transparente y objetiva de los hallazgos. Se promoverá la presentación clara de los resultados, asegurando que reflejen con fidelidad el impacto de los sistemas solares sin exageraciones o distorsiones. Finalmente, el proyecto buscará alinearse con principios de responsabilidad ambiental y social, promoviendo soluciones sostenibles que beneficien a las empresas y al entorno sin comprometer el bienestar de las comunidades.

A nivel de la comunidad científica y la población objeto de investigación, es esencial que los resultados sean divulgados de manera accesible, permitiendo que investigadores, empresarios y tomadores de decisiones puedan aprovechar el conocimiento obtenido. Se respetarán los principios éticos de la investigación, asegurando integridad, imparcialidad y responsabilidad en

la formulación de conclusiones y recomendaciones. Además, la selección de sujetos de estudio será equitativa, evitando favorecer únicamente a industrias con mayores recursos y asegurando una muestra representativa de diferentes sectores. Se evaluará el impacto social y ambiental de la implementación de energía solar, determinando cómo contribuye a la mitigación del cambio climático y al bienestar de las comunidades cercanas. Por último, el uso de los resultados se realizará de manera responsable, motivando la adopción de energía solar sin generar riesgos financieros ni fomentar decisiones apresuradas. La combinación de estas consideraciones éticas garantiza que la investigación sea transparente, rigurosa y beneficiosa para todas las partes involucradas, fortaleciendo el camino hacia una transición energética sostenible en el sector empresarial colombiano.

#### 4. RESULTADOS

Como se muestra en el anexo 1 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 1, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202302 y 202308. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 65% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en el anexo 2 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 2, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202212 y 202306. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 23% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en el anexo 3 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 3, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202404 y 202410. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 72% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que

también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en el anexo 4 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 4, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202311 y 202405. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 61% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 5 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 5, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202211 y 202305. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 61% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 6 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 6, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202309 y 202403. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 64% en el

consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 7 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 7, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202310 y 202404. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 80% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en el anexo 8 se presentan el análisis del comportamiento energético del Usuario 8, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202310 y 202404. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 45% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 9 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 9, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202312 y 202406. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 81% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 10 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 10, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202401 y 202407. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 75% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 11 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 11, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202405 y 202411. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 76% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró

disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 12 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 12, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202402 y 202408. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 61% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 13 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 13, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202308 y 202402. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 35% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 14 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 14, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202403 y 202409. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 75% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este

cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

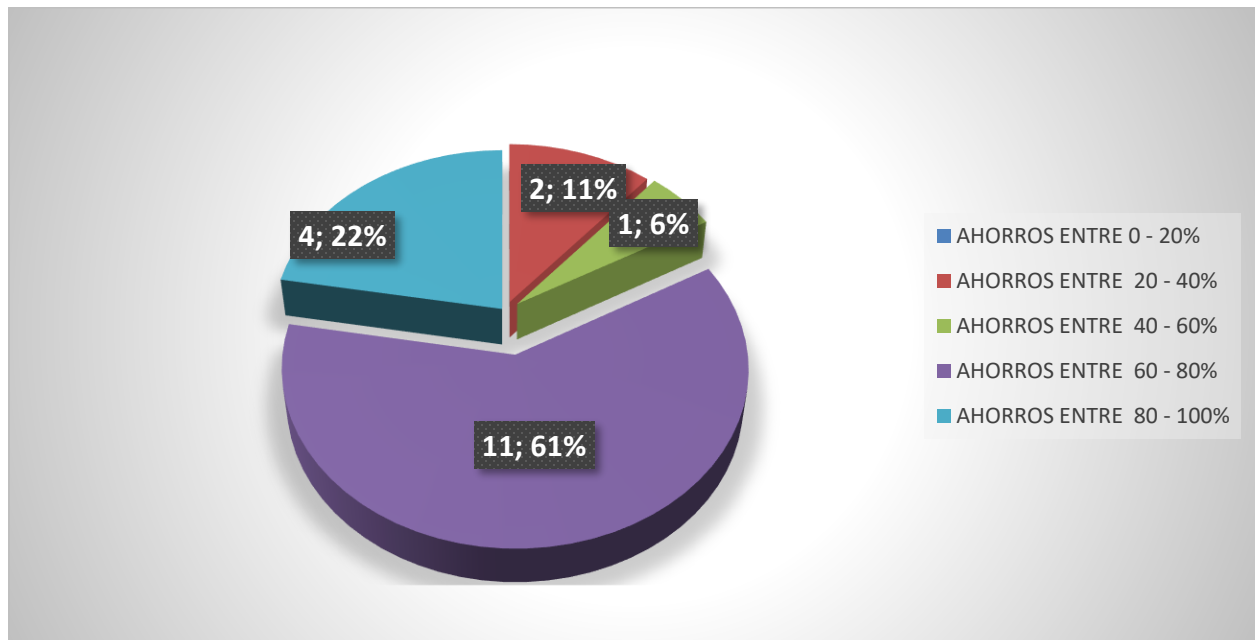
Como se muestra en la anexo 15 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 15, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202310 y 202404. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 86% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 16 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 16, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202407 y 202501. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 80% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 17 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 17, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202406 y 202412. Al

comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 68% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

Como se muestra en la anexo 18 se presentan el análisis del comportamiento energético del usuario 18, basado en siete ciclos de facturación comprendidos entre 202307 y 202401. Al comparar los tres primeros ciclos con los tres últimos, se evidencia una reducción del 68% en el consumo de energía, coincidiendo con la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico. Este cambio no solo refleja una mejora técnica en la eficiencia energética del usuario, sino que también representa un ahorro económico significativo. En términos prácticos, el cliente logró disminuir considerablemente su consumo promedio, lo que confirma los beneficios tangibles de invertir en soluciones sostenibles y eficientes como la energía solar.

**Figura 1. Ahorros de todos los usuarios**

**Fuente: Los autores.**

La Figura 1 muestra el análisis del comportamiento de ahorro energético de un total de 18 usuarios, agrupados según rangos porcentuales de ahorro en franjas de 20%. Esta segmentación permite identificar patrones de eficiencia tras la implementación del sistema solar.

La distribución de los usuarios por rangos de ahorro es la siguiente:

0% a 20% de ahorro: 0 usuarios

20% a 40% de ahorro: 2 usuarios

40% a 60% de ahorro: 2 usuarios

60% a 80% de ahorro: 11 usuarios

80% a 100% de ahorro: 4 usuarios

Este análisis revela que el 61% de los usuarios (11 de 18) lograron ahorros significativos en el rango del 60% al 80%, lo que representa la franja con mayor concentración de beneficiarios. Además, si se suman los usuarios que alcanzaron entre un 60% y un 100% de ahorro (15 usuarios en total), se concluye que el 83% de la muestra obtuvo reducciones sustanciales en su consumo energético.

Estos resultados reflejan el alto impacto positivo del sistema solar en términos de eficiencia energética y ahorro económico, validando su efectividad como solución sostenible para los usuarios analizados.

## 5. DISCUSIÓN

El propósito principal de esta investigación fue la evaluación del impacto en las empresas colombianas que implantaron sistemas solares y como estos afectaron los consumos y por ende costos de energía, cabe recordar que este país se encuentra en transición energética.

Uno de los objetivos propuestos en esta investigación fue el identificar usuarios que hayan implementado paneles solares , para esto se seleccionó usuarios que implementaron paneles solares (AGPE), tal como lo indica la Ley 1715 de 2014, la promoción de la autogeneración en Colombia ha permitido que más empresas quieran implementar este tipo de soluciones, la identificación de estos casos demuestran como este tipo de normativas fomentan el uso de energías renovables, con este estudio se demuestra que ya existe una base de empresas que han apostado por el cambio a sistemas fotovoltaicos que han obtenido resultados favorables motivando a más compañías a seguir este camino.

Otro de los objetivos es la evaluación del consumo antes y después de la implementación de sistemas solares en las compañías, en el análisis cuantitativo se evidencia que un 83% de los usuarios experimentaron una reducción en su consumo energético, esta metodología se alinea con lo planteado por Sellers (2001), quien en su investigación se enfocan en el valor de las facturas como insumo primario para las auditorias energéticas del cual se puede obtener un diagnóstico de la eficiencia de la implantación de paneles solares, y tal como se hizo en esta investigación se puede obtener una visión detallada del comportamiento energético de los usuarios utilizados en esta investigación.

Con el resultado de las encuestas se evidencia una reducción en los costos de energía obteniendo un beneficio económico tangible, como lo mencionan los autores Qing et al. (2024), la implementación de energías fotovoltaicas generan varios beneficios reducción en la factura y una posibilidad de obtener beneficios ingresos por excedentes, el resultado de esta investigación valida esta premisa ya que los usuarios encuestados la mayoría de ellos han experimentado reducción en el costo de sus facturas energéticas afectando positivamente su estructura de costos.

Otro de los objetivos en esta investigación es el analizar los beneficios de los proyectos solares en las empresas, en los datos recolectados se evidencia no solo una disminución en el uso de energía eléctrica convencional, si no una adopción en prácticas sostenibles con impactos a nivel económico, social y sobre todo en el ambiental como lo destacan Dixit et al. (2023), en su investigación en la cual se ve como los sistemas fotovoltaicos permiten evitar la emisión de gases de efecto invernadero, convirtiéndose en una de las herramientas fundamentales en la lucha contra el cambio climático, así mismo Cook, et al. (2023), señalan que la implementación de paneles solares en edificios y empresas contribuyen en el proceso de descarbonización del sector industrial.

Adicional a lo antes señalado, desde la perspectiva normativa algunos de los usuarios analizados en este estudio generaron excedentes energéticos y amparados en la ley 1715 de 2014, estos usuarios pueden vender estos excedentes de energía o si lo requieren beneficiarse de créditos energéticos, generando una ventaja competitiva frente a las empresas que aún no implementan paneles solares.

## 6. CONCLUSIONES

En relación con la identificación y caracterización de empresas colombianas que han implementado sistemas de autogeneración solar fotovoltaica y la recopilación de sus datos de consumo energético y costos operativos: El estudio logró identificar y caracterizar a un grupo de 18 empresas colombianas que han adoptado sistemas de autogeneración solar fotovoltaica. Mediante la recopilación exhaustiva de 126 facturas de servicio de energía eléctrica (siete por cada usuario), se obtuvieron datos comparativos detallados de los consumos energéticos y costos operativos en periodos previos y posteriores a la implementación solar. Esta identificación corrobora cómo el marco normativo colombiano, particularmente la Ley 1715 de 2014, ha fomentado la inversión en soluciones de energía renovable, evidenciando que existe una plataforma de empresas pioneras con resultados favorables que pueden motivar a otras a seguir este camino.

En relación con la cuantificación de la optimización del consumo energético y la mitigación de costos económicos logrados por las empresas colombianas: El análisis comparativo detallado de los datos históricos de facturación de energía eléctrica de las empresas colombianas, tras la implementación de la autogeneración solar fotovoltaica, reveló una optimización significativa del consumo energético y una sustancial mitigación de costos económicos. Los resultados demuestran que el 83% de los usuarios encuestados experimentaron reducciones sustanciales en su consumo, logrando ahorros entre el 60% y el 100%, con el 61% de la muestra alcanzando un ahorro entre el 60% y el 80%. Estos hallazgos validan el alto impacto positivo de los sistemas solares en términos de eficiencia energética y ahorro

económico, lo que se traduce en una disminución directa del costo mensual de la energía eléctrica y un beneficio económico tangible para las empresas.

En relación con el análisis de cómo la optimización del consumo energético y la mitigación de costos contribuyen a la sostenibilidad empresarial y la generación de valor compartido en las empresas colombianas, más allá del ahorro económico directo: La optimización del consumo energético y la mitigación de costos logradas por la autogeneración solar fotovoltaica no solo generan ahorros económicos directos, sino que también contribuyen de manera integral a la sostenibilidad empresarial y a la creación de valor compartido en las empresas colombianas. La adopción de esta tecnología promueve la reducción directa de emisiones de gases de efecto invernadero, apoyando las metas de descarbonización del sector industrial y contribuyendo a la mitigación del cambio climático y a un entorno más saludable. Además, al integrar prácticas sostenibles, estas empresas se establecen como modelos a seguir, fomentando una cultura empresarial responsable y empoderando a otros actores locales a considerar alternativas similares. La capacidad de vender excedentes de energía o beneficiarse de créditos energéticos, amparada por la Ley 1715 de 2014 y la Resolución 174 de 2021 de la CREG, añade una ventaja competitiva y potencia el valor compartido más allá del ahorro inmediato

## 7. RECOMENDACIONES

Ampliación de estudios de caso: Realizar análisis adicionales con más empresas para fortalecer el uso de estas tecnologías y obtener más datos representativos a nivel nacional.

Optimización de políticas públicas: Proponer mejoras en la regulación y nuevos incentivos para facilitar la adopción de energía solar en empresas de distintos sectores.

Integración de almacenamiento energético: Evaluar la viabilidad de sistemas de baterías para maximizar el aprovechamiento de la energía solar en horas sin sol.

Difusión de beneficios empresariales: Crear estrategias de comunicación para incentivar a más empresas a implementar paneles solares, destacando los beneficios económicos y ambientales.

Monitoreo y actualización tecnológica: Implementar sistemas de medición avanzados para evaluar el rendimiento en tiempo real y optimizar el uso de la energía generada.

Establecimiento de alianzas estratégicas: Fomentar colaboración entre empresas, instituciones gubernamentales y expertos en energía renovable para fortalecer el desarrollo de la autogeneración solar.

Capacitación y concienciación: Crear programas de formación para empleados y directivos sobre el uso eficiente de la energía y los beneficios de la sostenibilidad empresarial.

Evaluación del impacto ambiental y social: Realizar estudios sobre cómo la adopción de energía solar contribuye a la mitigación del cambio climático y genera valor compartido en las comunidades locales.

Análisis de rentabilidad a largo plazo: Ampliar los estudios sobre el retorno de inversión en autogeneración solar para consolidar la confianza en esta tecnología dentro del sector empresarial.

Expansión de la generación distribuida: Considerar nuevas oportunidades para que las empresas vendan excedentes de energía o participen en modelos de generación compartida.

## 8. REFERENCIAS

- Bermúdez, C., y López, M. (2023). Energía solar y sostenibilidad en procesos industriales. *Revista de Innovación Energética*, 15(2), 45–61.
- Cook, J., Jena, S., Qasim, M. y O'Shaughnessy, E. (2023). *Observations and Lessons Learned From Installing Residential Roofing-Integrated Photovoltaics* (No. NREL/TP-6A20-85230). National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States). <https://docs.nrel.gov/docs/fy23osti/85230.pdf>
- Dixit, A., Saxena, A., Sharma, R., Behera, D., y Mukherjee, S. (2023). Solar Photovoltaic Principles. In *Solar PV Panels-Recent Advances and Future Prospects*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/85733>
- Gómez, J. (2020) Impacto del fenómeno de El Niño en el sistema energético colombiano. Editorial Energía Sostenible.
- Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Mayo 13 de 2014.
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). Lineamientos de política para la implementación de la transición energética en Colombia. Gobierno de Colombia. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co>
- Montesino, O. y Mejía, R. (2017). Uso de paneles solares como energía renovable para el abastecimiento de energía eléctrica [Tesis para obtener título de especialista, UNAD].

Repositorio Universitario UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/14065/9253?sequence=1>

Montoya, A. (2019). *Marco regulatorio y eficiencia energética en el sector empresarial colombiano*. Universidad Nacional de Colombia.

Naciones Unidas (2015). Aprobación del Acuerdo de París. Convención Marco sobre el Cambio Climático. Conferencia de las Partes 21 Periodo de Sesiones. París. Naciones Unidas. Obtenido de: [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)

Puga-Gil, D., Astray, G., Barreiro, E., Gálvez, J., y Mejuto, J. (2022). Global solar irradiation modelling and prediction using machine learning models for their potential use in renewable energy applications. *Mathematics*, 10(24), 4746.

Qing, Z., Li, J., Wang, M., Wang, R. y Qing, Z. (2024). Machine Learning-Based Prediction and Benefit Analysis of Photovoltaic Power Generation. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, Volume 108, 114 – 122.

Ramírez, L. (2018). Eficiencia energética en entornos industriales sostenibles. *Revista Energía y Medioambiente*, 12(2), 45–60.

Resolución 174 de 2021 [Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG]. Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. Octubre 7 de 2021.

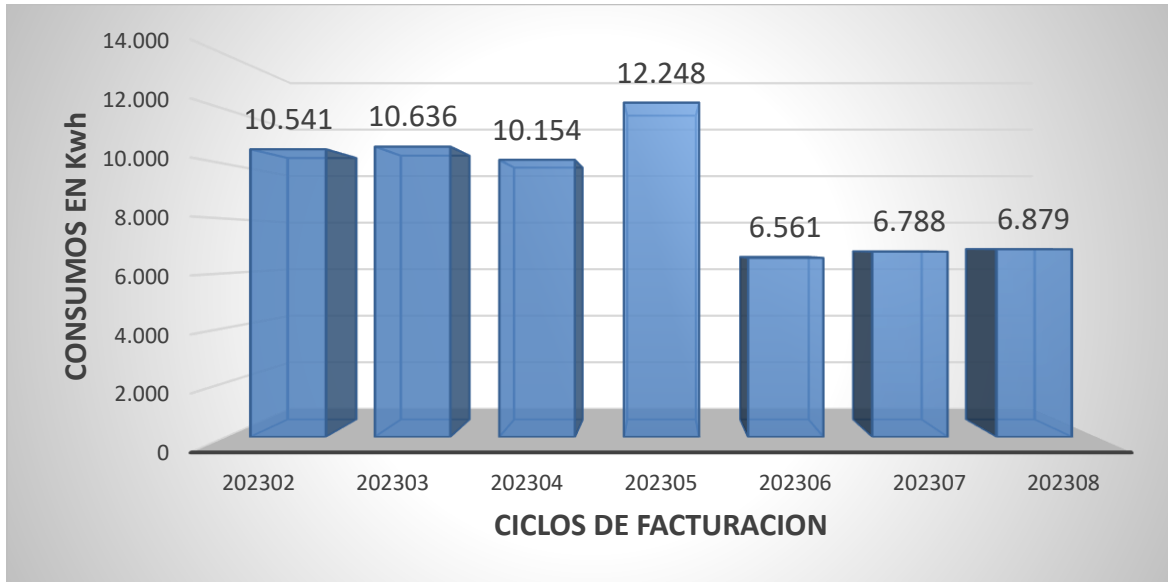
Sánchez, D., Rojas, C. y Yepes, D. (2018). *Facturación de servicios a terceros* [Tesis de doctorado, Corporación Universitaria Minuto de Dios] Repositorio universitario.

<https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/69926f5e-caca-4e83-a7dc-4977af93efe5/content>

Sellers, D. (2001). Using Utility Bills and Average Daily Energy Consumption to Target Commissioning Efforts and Track Building Performance.[Conference]. First International Conference for Enhanced Building Operations, Austin, Texas.

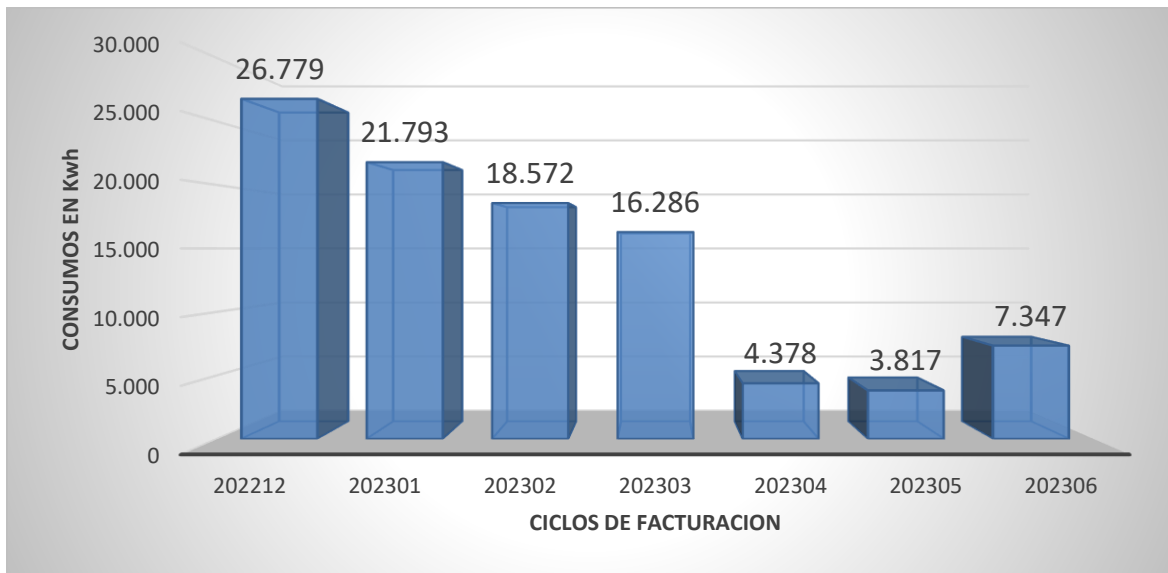
**ANEXOS**

**Anexo 1. Empresa ubicada en Tuluá, valle del Cauca**



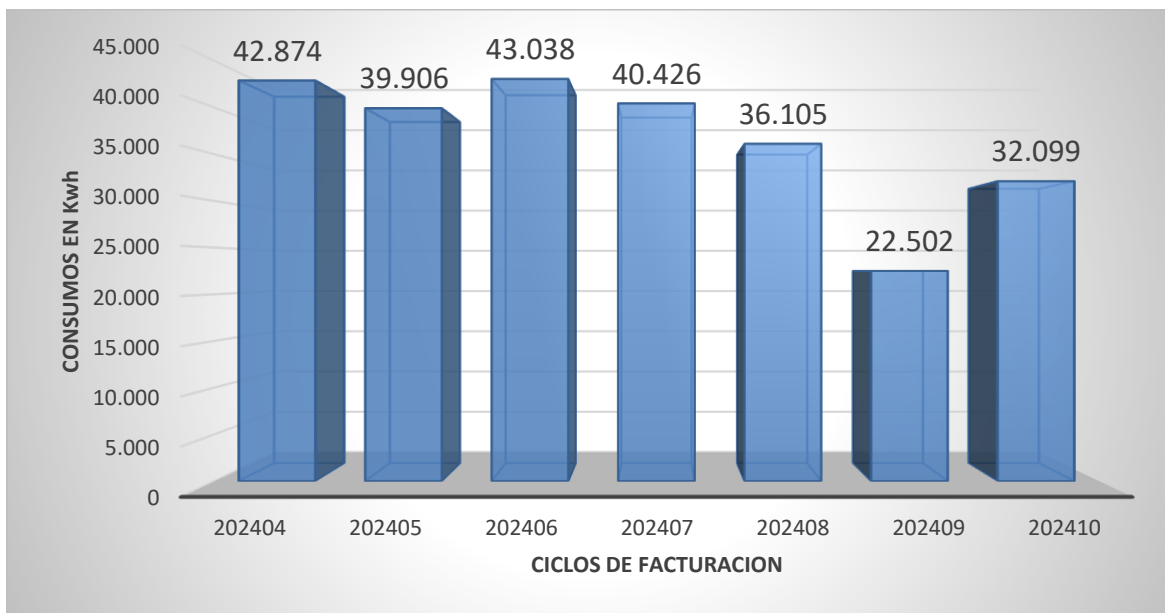
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 2. Empresa ubicada en Caldas, Antioquia**



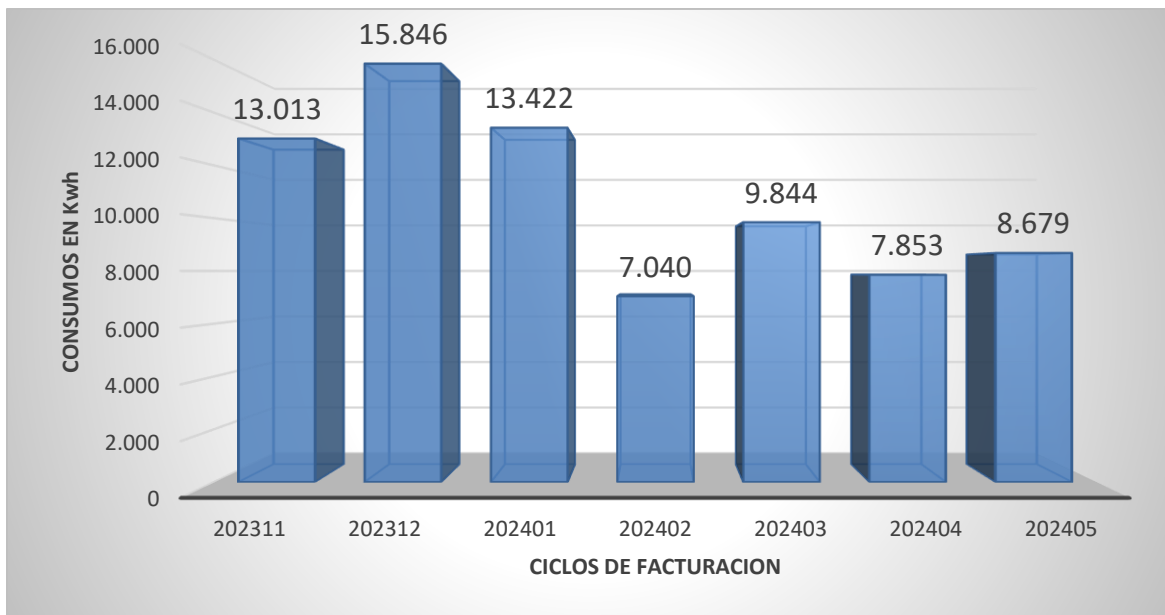
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 3. Empresa ubicada en Anapoima, Cundinamarca**



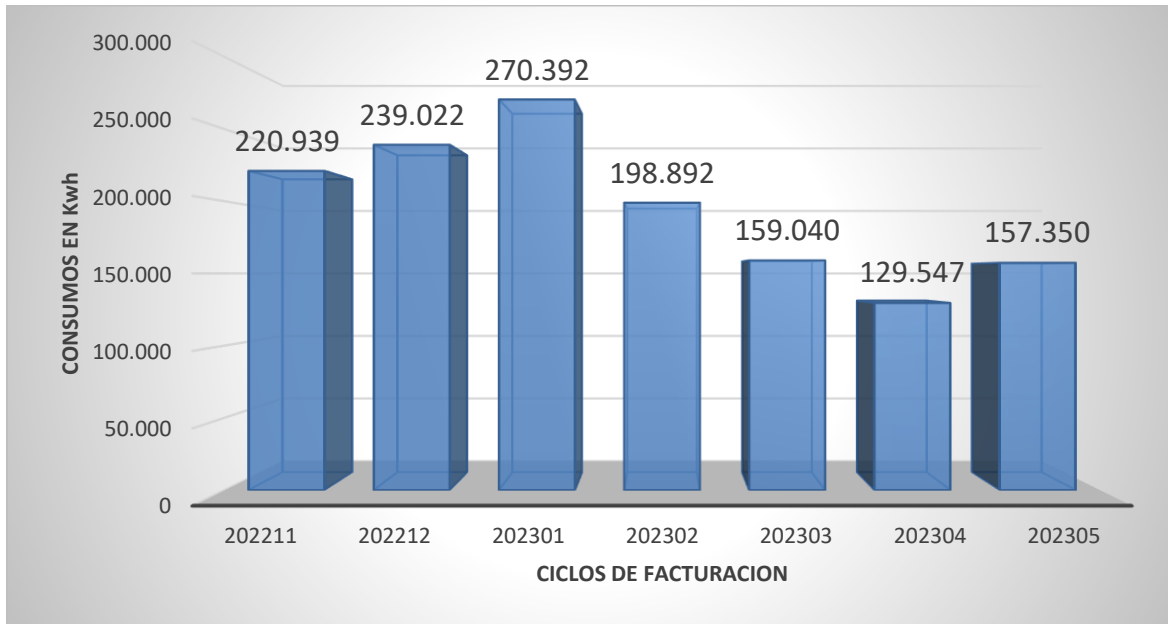
Fuente: Los autores.

**Anexo 4. Empresa ubicada en Barranquilla, Atlántico**



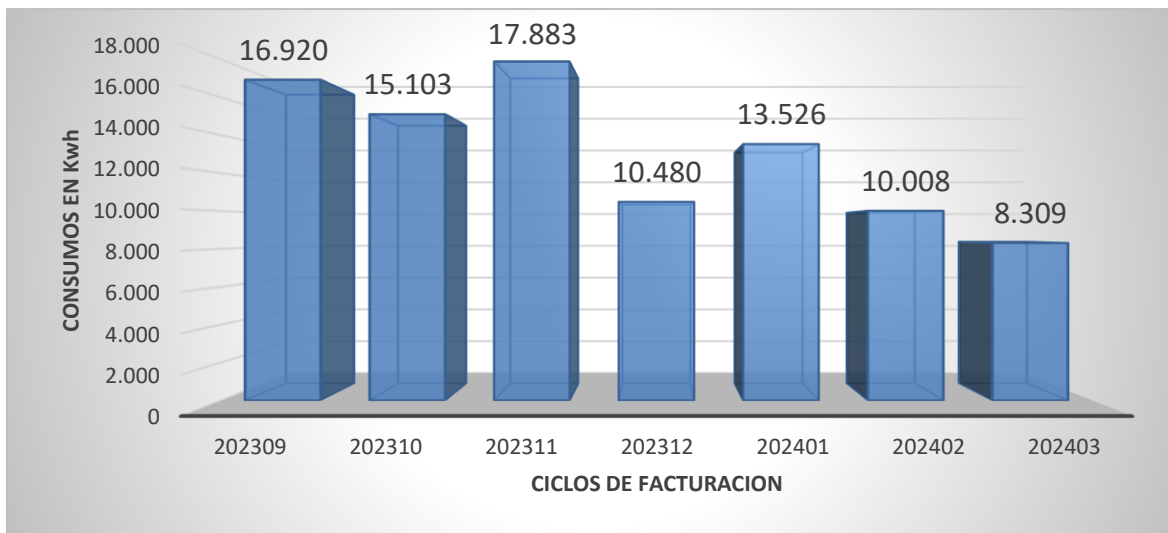
Fuente: Los autores.

**Anexo 5. Empresa ubicada en Yopal, Casanare**



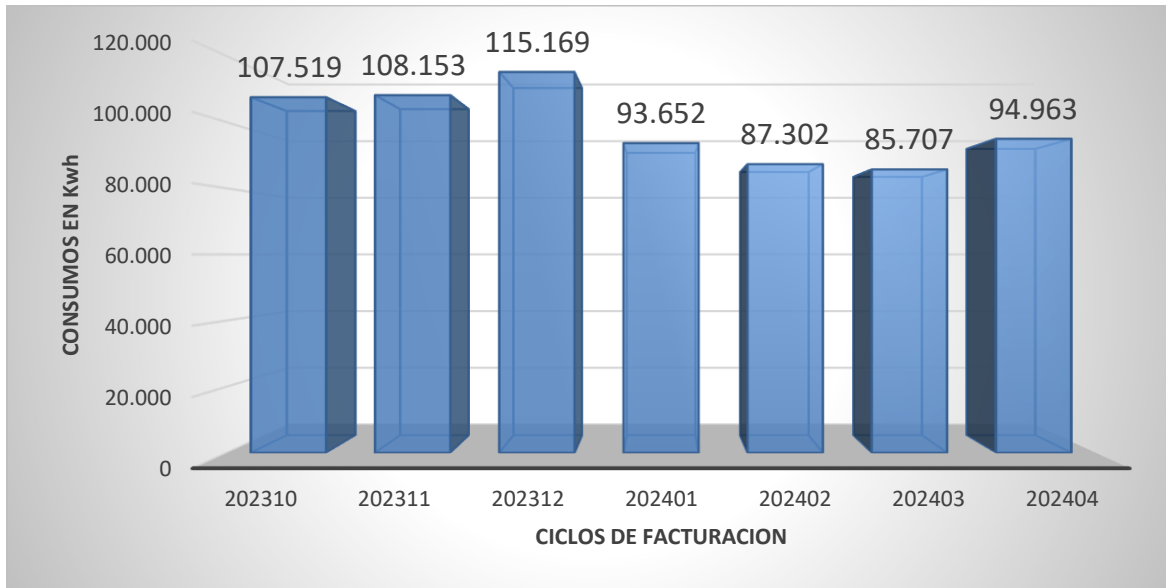
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 6. Empresa ubicada en Valledupar, César**



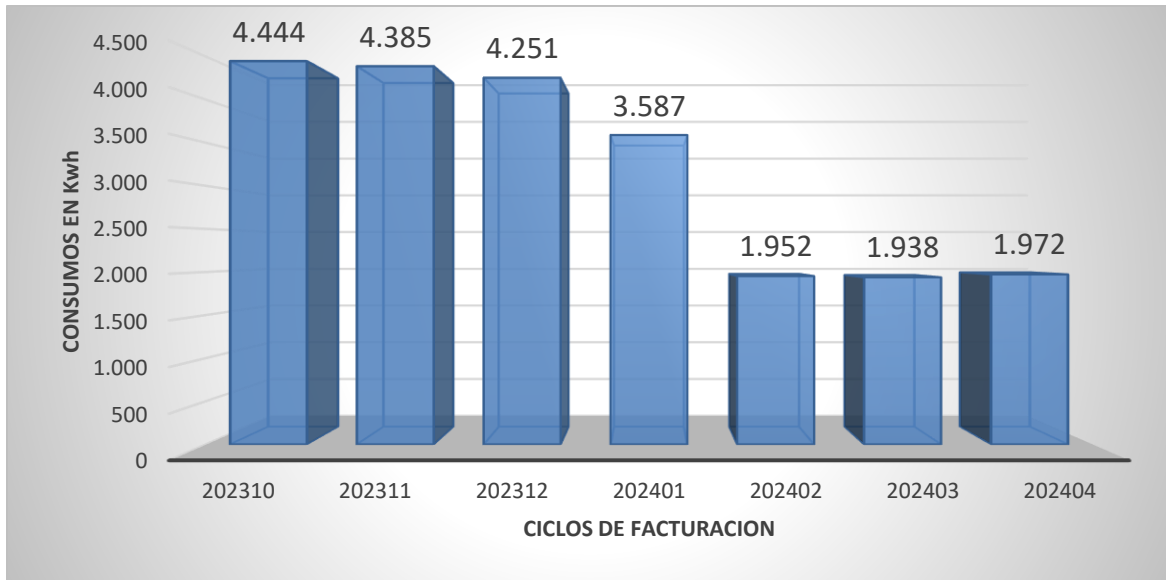
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 7. Empresa ubicada en La tebaida, Quindío**



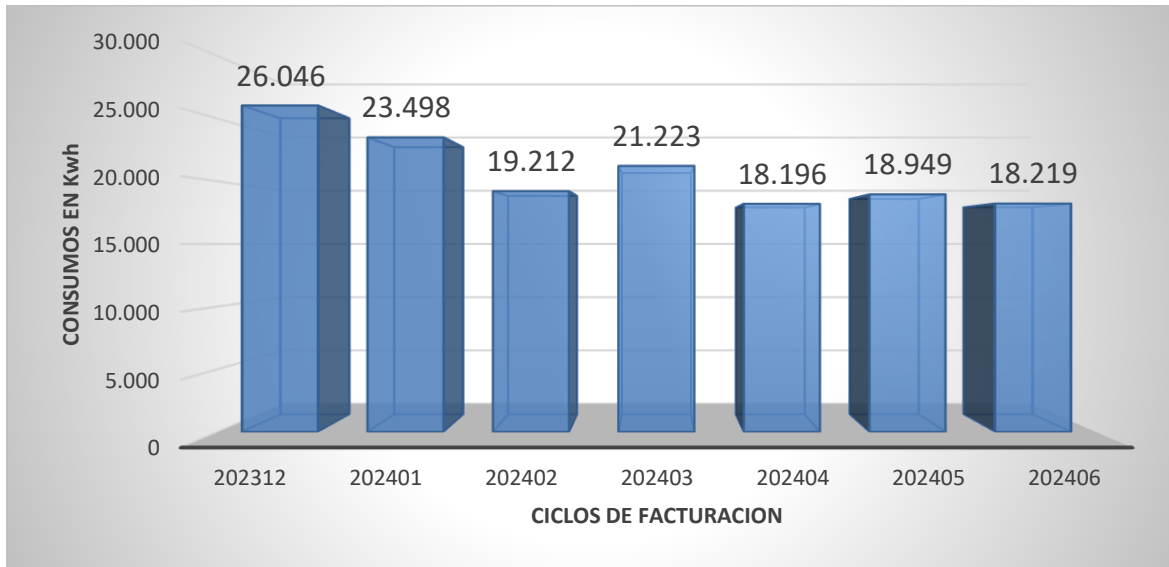
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 8. Empresa ubicada en Barranquilla, Atlántico**



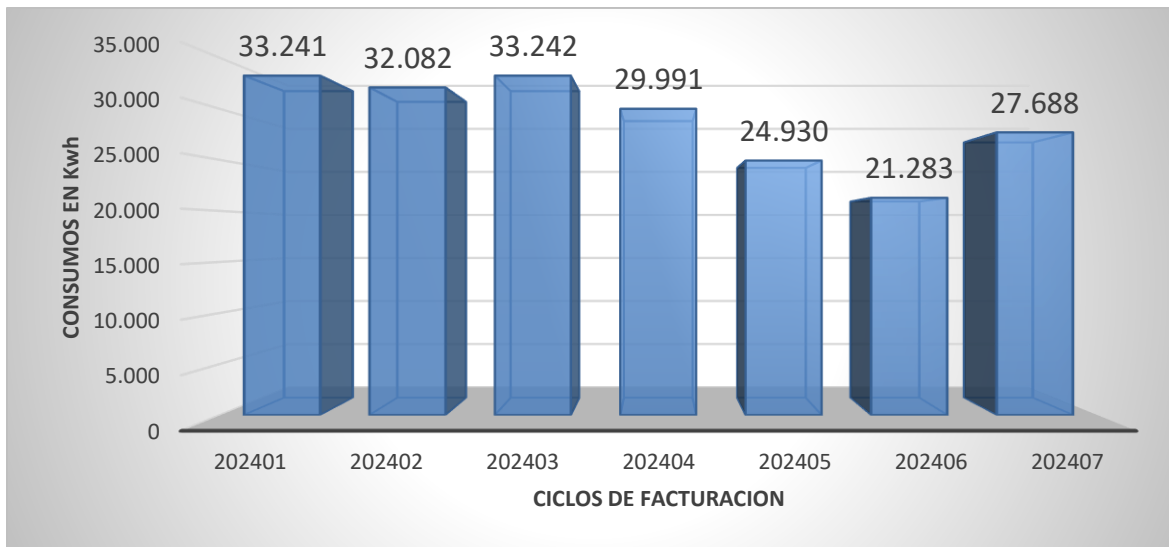
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 9. Empresa ubicada en Cali, Valle**



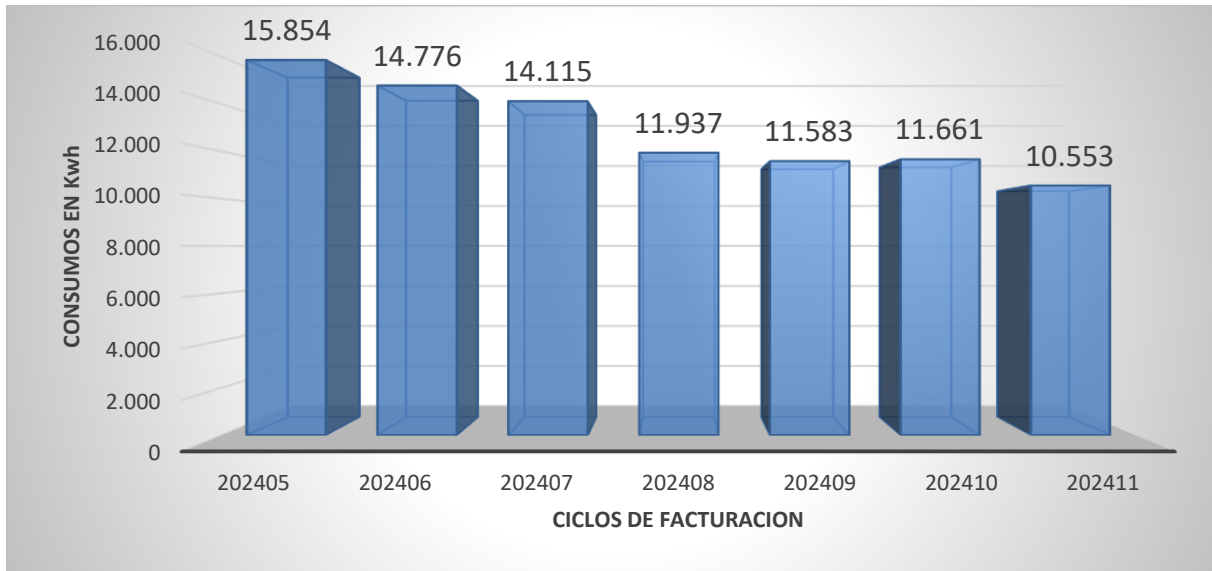
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 10. Empresa ubicada en Medellín, Antioquia**



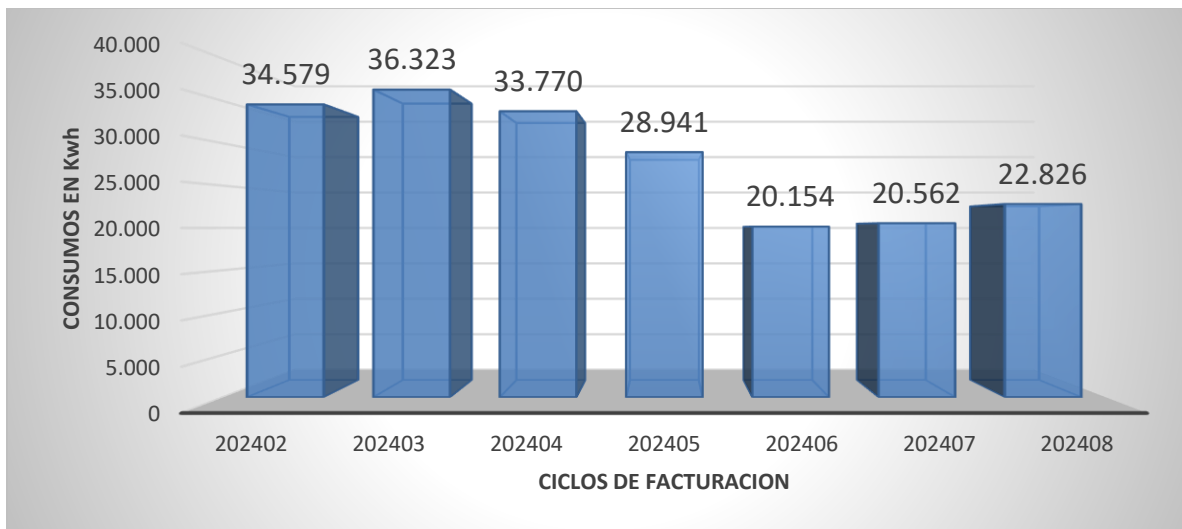
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 11. Empresa ubicada en Palmira, valle del Cauca**



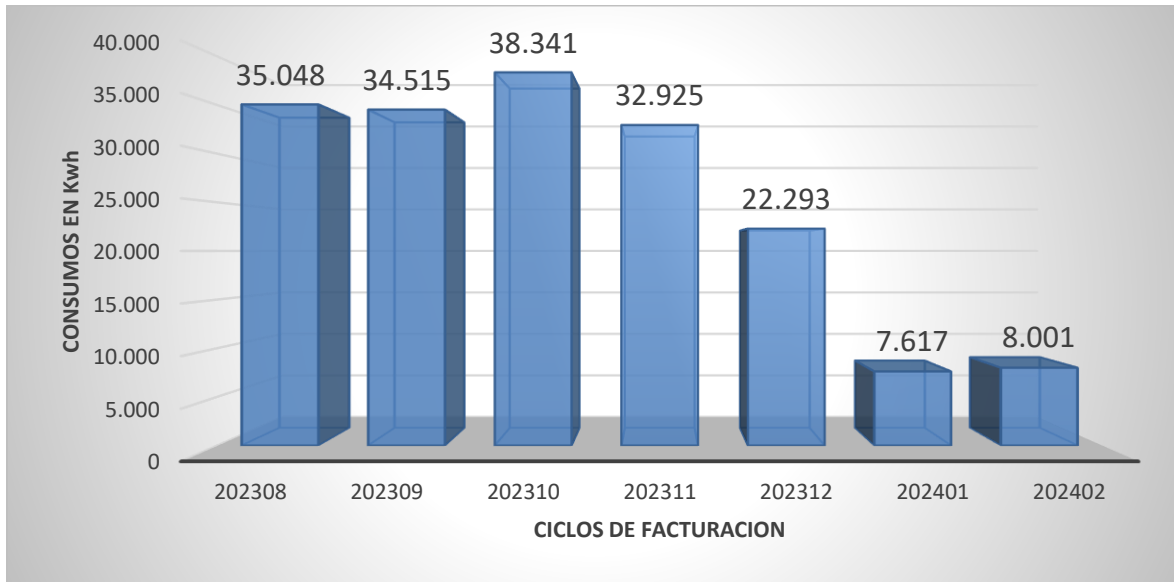
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 12. Empresa ubicada en Yopal, Casanare**



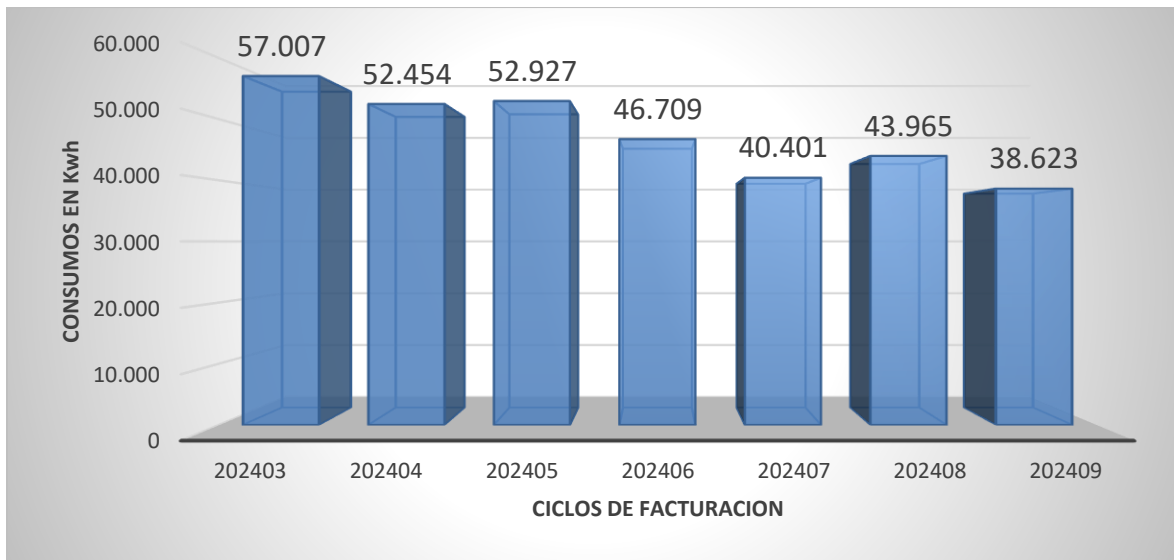
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 13. Empresa ubicada en Barranquilla, Atlántico.**



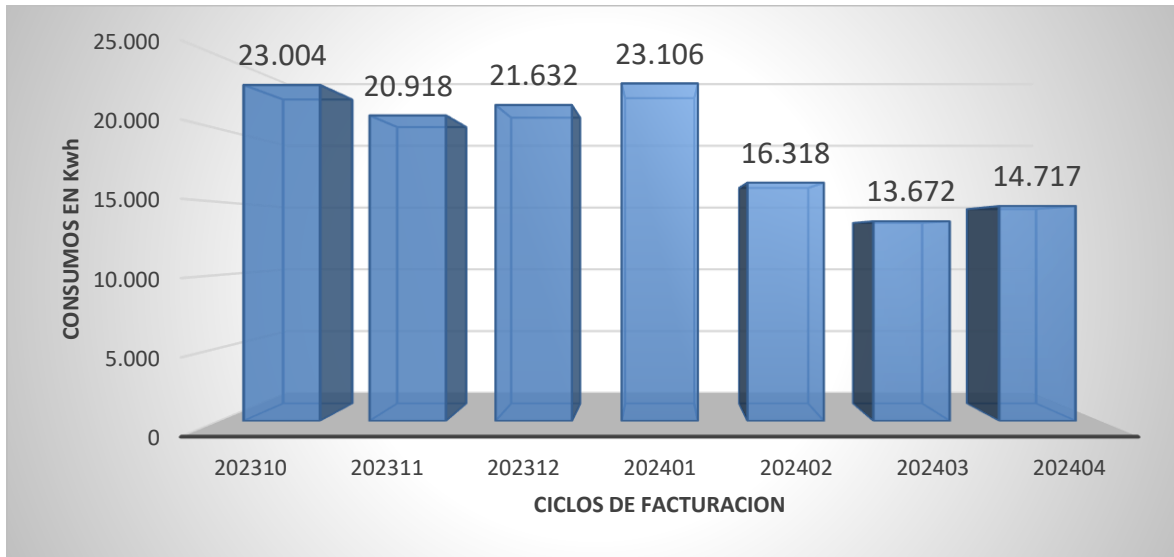
Fuente: Los autores.

**Anexo 14. Empresa ubicada en Itagüí, Antioquía**



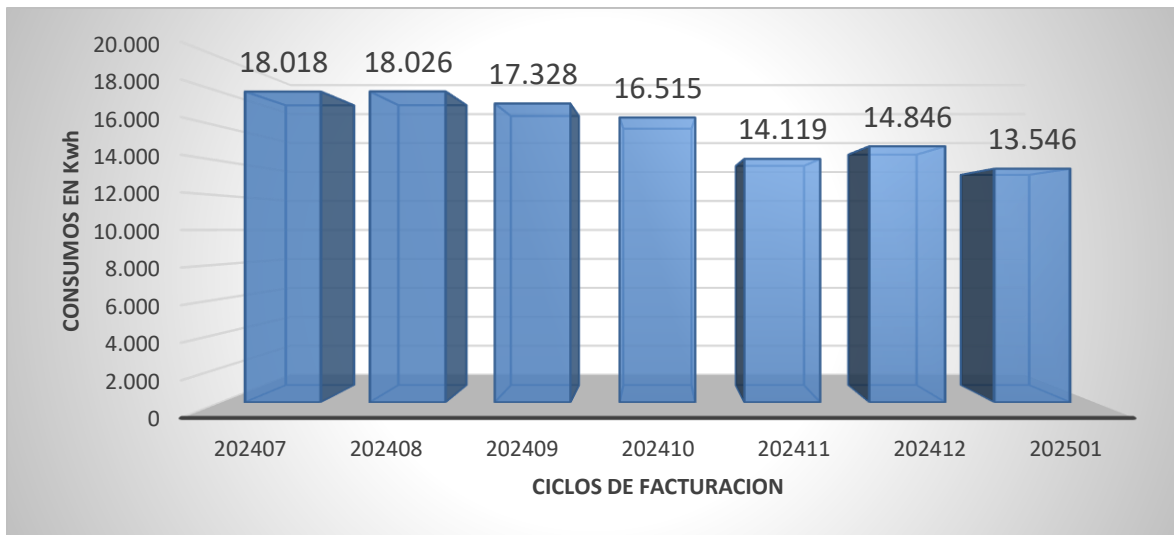
Fuente: Los autores.

**Anexo 15. Empresa ubicada en Ibagué, Tolima**



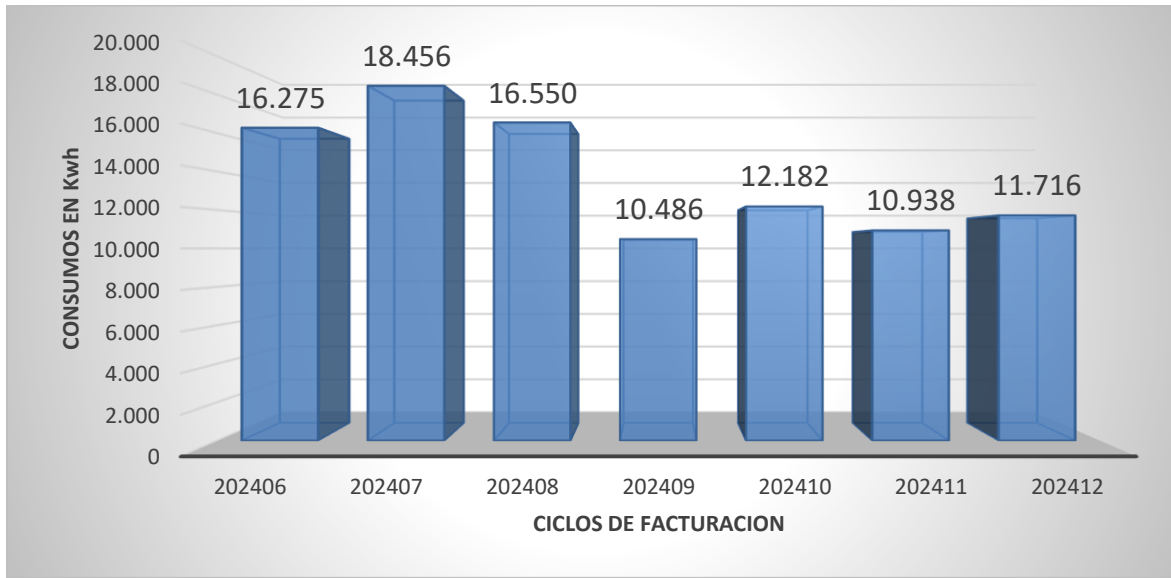
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 16. Empresa ubicada en Chaparral, Tolima**



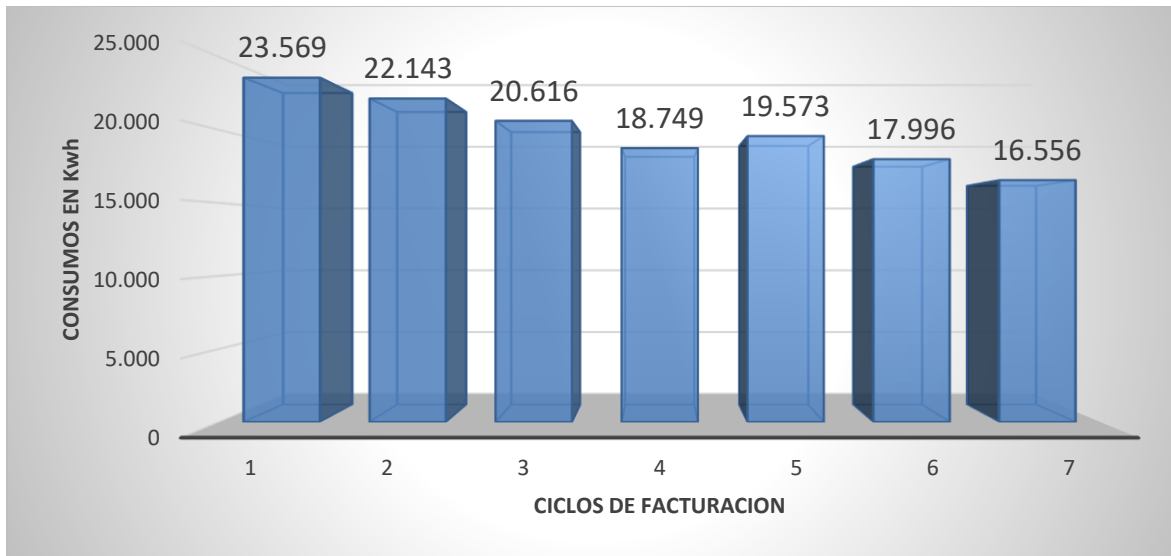
**Fuente: Los autores.**

**Anexo 17. Empresa ubicada en Medellín, Antioquia**



Fuente: Los autores.

**Anexo 18. Empresa ubicada en Barranquilla, Atlántico**



Fuente: Los autores.