# PREFACTIBILIDAD AMBIENTAL DE SUSTITUCIÓN DE FUENTES ENERGÉTICAS CONVENCIONALES POR BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS PARA ILUMINACIÓN. PARQUE DE USAQUÉN.

**Daniela Díaz Orjuela y Juan Sebastián Gómez Alba**

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, de octubre de 2019

# Prefactibilidad ambiental de sustitución de fuentes energéticas convencionales por baldosas piezoeléctricas para iluminación. Parque de Usaquén.

Daniela Díaz Orjuela y Juan Sebastián Gómez Alba

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
**Ingeniero Ambiental**

Director:
José Alfonso Avellaneda Cusaria

Línea de
Investigación:
Energías
Alternativas

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería

Ambiental Bogotá,

Colombia

2019

## Agradecimientos

A nuestro director José Alfonso Avellaneda, por su acompañamiento, dedicación, y valor investigativo, además por el permitirnos aprender mutuamente durante este proceso.

A nuestros padres, que siempre confiaron en nosotros, nos dieron apoyo y la motivación para hacer de este un logro más en nuestra vida.

Por último, a nuestros demás profesores y compañeros que de alguna manera aportaron al desarrollo de este proyecto y nos motivaron en cada momento.

## Tabla de Contenido


1. Resumen ..... 1
2. Abstract ..... 1
3. Introducción ..... 2
4. Planteamiento del problema ..... 2
5. Justificación ..... 3
6. Objetivos ..... 4
7. Marco de referencia ..... 4
   7.1 Antecedentes ..... 4
   7.2 Estado del arte ..... 5
   7.3 Marco conceptual ..... 5
      7.3.1 Energía y fuentes de energía ..... 5
      7.3.2 Estudio de prefactibilidad ambiental ..... 6
      7.3.3 Estudio de impacto ambiental (EIA) ..... 6
   7.4 Marco teórico ..... 7
   7.5 Marco geográfico y descripción del territorio ..... 10
   7.6 Marco institucional ..... 13
   7.7 Marco normativo ..... 13
8. Metodología ..... 14
   8.1 Metodología de la investigación. ..... 14
      8.1.1 Alcance y enfoque de la investigación. ..... 14
      8.1.2 Unidad de análisis ..... 15
      8.1.3 Muestra y población (informantes) ..... 15
      8.1.4 Variables, aspectos e indicadores (ver ejemplo 1) ..... 16
   8.2 Esquema metodológico por objetivo ..... 16
   8.3 Cuadro resumen ..... 19
9. Aspectos Éticos ..... 21
10. Análisis y resultados ..... 21
   10.1 Objetivo #1: Analizar la receptividad cultural de la población del área de influencia en relación con una posible aplicación de generación de energía a partir de baldosas piezoeléctricas, teniendo como referente los usos del suelo establecidos para la zona de estudio. ..... 22
   10.2 Objetivo #2: Desarrollar una evaluación de impacto ambiental que permita identificar los posibles efectos que se puedan generar en el área de influencia por la implementación del proyecto. ..... 29
      10.2.1 Matriz de Impacto Ambiental ..... 29
      10.1.2 Plan de manejo ambiental ..... 40
   10.3 Objetivo #3: Formular lineamientos para el estudio de factibilidad en la implementación del parque piezoeléctrico de Usaquén como proyecto piloto para la ciudad de Bogotá. ..... 44
      10.3.1 Reducción huella de carbono ..... 45

10.3.2 Lineamientos para factibilidad ....46
11. Conclusiones....51
12. Recomendaciones....52
13. Referencias Bibliográficas....52
14. Glosario de términos....55
ANEXOS....56
Anexo 1: Encuesta de receptividad cultural. ....56
Anexo 2: "Documento Matriz Impacto EIA en formato Excel"

# Tabla de Figuras

Figura 1. Modelo Molecular ..... 9
Figura 2. Esquema efecto piezoeléctrico ..... 9
Figura 3. Esquema de paso y generación de energía ..... 10
Figura 4. Fotografías panorámicas del Parque de Usaquén, 2019. ..... 11
Figura 5. UPZ N° 14 Usaquén, Listado de Sectores Normativas. ..... 12
Figura 6. Esquema metodológico del objetivo específico 1. ..... 16
Figura 7. Esquema metodológico del objetivo específico 2. ..... 18
Figura 8. Esquema metodológico del objetivo específico 3. ..... 19
Figura 9. Pregunta N°1. Frecuencia de visitas al parque de Usaquén ..... 24
Figura 10. Pregunta N°2. Horario en que se transita el parque ..... 25
Figura 11. Pregunta N°3. Número de personas con que se visita el parque ..... 25
Figura 12. Pregunta N°4 Conocimiento de la energía piezoeléctrica ..... 26
Figura 13. Pregunta N°5 Disposición a interactuar con las baldosas piezoeléctricas. ..... 26
Figura 14. Pregunta N°6 Visitas al parque con la tecnología implementada ..... 27
Figura 15. Fotografías de transeúntes en la zona en donde se haría la instalación. ..... 28
Figura 16. Magnitud de impactos en el escenario sin proyecto ..... 31
Figura 17. Importancia Negativa Final vs. Importancia Positiva Final en el escenario sin proyecto ..... 31
Figura 18. Impacto Ambiental Final en el escenario sin proyecto ..... 32
Figura 19. Impacto Ambiental Final en el escenario sin proyecto. ..... 32
Figura 20. Resumen de matriz de impacto ambiental en el escenario sin proyecto. ..... 33
Figura 21. Magnitud de impactos en el escenario con proyecto. ..... 35
Figura 22. Importancia Negativa Final vs. Importancia Positiva Final en el escenario con proyecto ..... 35
Figura 23. Impacto Ambiental Final en el escenario con proyecto. ..... 36
Figura 24. Impacto Ambiental Final en el escenario con proyecto. ..... 36
Figura 25. Resumen de matriz de impacto ambiental en el escenario con proyecto ..... 37
Figura 26. Impacto Ambiental Final sin proyecto. ..... 38
Figura 27. Impacto Ambiental con proyecto. ..... 38
Figura 28. Impacto ambiental con proyecto. ..... 39
Figura 29. Situación de las luminarias en el parque de Usaquén y características técnicas del sistema piezoeléctrico. ..... 49
Figura 30. Fotografías del lugar de instalación. ..... 51

## Tabla de tablas

*Tabla 1. Grupo de materiales piezoeléctricos*.....10
Tabla 2 *UPZ N° 14 Usaquén, Listado de Sectores Normativas, 2018.* .....12
Tabla 3. Normatividad aplicable al proyecto.....13
Tabla 4. Indicadores respecto a las variables pertinentes para el proyecto. .....16
Tabla 5. *Resumen de actividades, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de* .....19
Tabla 6. Valores de Z alfa según nivel de confianza escogido. .....23
Tabla 7. Valores para probabilidad.....24
Tabla 8. Preguntas con su respectiva moda. .....27
Tabla 9. Valores para la cualificación de impactos ambientales. .....29
Tabla 10. *Matriz de impacto ambiental para el escenario* ***sin proyecto***. .....30
Tabla 11. *Matriz de impacto ambiental para el escenario* ***con proyecto***. .....34
Tabla 12. Programa de manejo para la contaminación del aire. .....40
Tabla 13. *Programa de manejo para la fragmentación del hábitat (aves)* .....42
Tabla 14. Programa de manejo para afectación de la dimensión cultural. .....43
Tabla 15. *Datos técnicos del alumbrado público y del sistema de baldosas piezoeléctricas.* .....46
Tabla 16. Valor económicos baldosas Pavegen ©.....50

## 1. Resumen

En el último siglo se ha observado un crecimiento poblacional que ha influido directamente en factores como el consumo energético, generando a corto y largo plazo una explotación acelerada de hidrocarburos y recursos naturales. Por esta razón y hablando desde un ámbito económico, energético, social y ecológico, se pone en duda qué tan eficiente llega a ser un sistema de fuentes de energía alternativa en comparación con sistemas de fuentes de energía convencional. Para esto se propone realizar una prefactibilidad ambiental de sustitución de fuentes energéticas convencionales por baldosas piezoeléctricas para iluminación pública en el Parque de Usaquén. Para comenzar, se realizò un conteo durante 30 dìas en el horario de 6:00 p.m a 10:00 p.m con el fin de determinar el flujo de personas que transitan por la zona de estudio en una hora, además, se desarrollò una encuesta destinada a esta poblaciòn para observar còmo factores de frecuencia de visitas, horario, dìa, y número de acompañantes influyen en este flujo de personas. Seguido de esto, se ejecutò un estudio de impacto ambiental por medio de la matriz Conesa, para identificar los posibles impactos ambientales negativos y positivos que podrìan ocurrir en dos momentos, con proyecto y sin proyecto. Al evaluar la matriz, se pudo observar que en el momento en el que se realiza el proyecto los componentes que se ven afectados negativamente son el aire, la parte biótica y cultural, teniendo estos resultados se establecieron medidas de manejo por medio de planes de manejo ambiental para cada componente en la etapa de construcciòn. Por ùltimo se formularon alguno lineamientos a tener en cuenta para una posterior etapa de factibilidad del proyecto, se analizò informaciòn pertinente para un estudio técnico, de mercado, financiero, administrativo, jurídico y legal, donde se evaluò la eficiencia del sistema piezoeléctrico frente al sistema energético convencional, la promociòn de implementar las energìas alternativas y el beneficio que obtiene la persona que lo aplica, algunos valores financieros, entre otros.



*Palabras clave: energías alternativas, piezoelectricidad, eficiencia energética.*



## 2. Abstract

In the last century there has been a population growth that has directly influenced factors such as energy consumption, generating in the short and long term an accelerated exploitation of hydrocarbons and natural resources. For this reason and speaking from an economic, energetic, social and ecological field, it is questioned how efficient an alternative energy source system becomes compared to conventional energy source systems. For this, it was proposed to carry out an environmental prefeasibility of substitution of conventional energy sources with piezoelectric tiles for public lighting of the Usaquén Park, which was developed from the study of a specific sample, an evaluation of environmental impact and the necessary elements to take into account for a later stage of feasibility. According to the above, it was determined not only that the piezoelectric system is accepted by the community of the sector, but that it manages to supply the park's public lighting energy and, in turn, supplies the need to plant hectares of forest that capture the CO2 emitted by a source of conventional energy.



*Keywords: alternative energies, piezoelectricity, energy efficiency*

.

## 3. Introducción

En la actualidad, las energías alternativas prometen ser la solución a diversas problemáticas relacionadas a la contaminación atmosférica, puesto que su función radica en la generación de energía a partir de fuentes renovables y las cuales su funcionamiento no provoca emisiones contaminantes. En Colombia son varios por mencionar los proyectos que involucran este tipo de energías para el abastecimiento energético, ya sea a través de energía solar, eólica o geotérmica. Sin embargo, solo el 3% de la energía eléctrica proviene de este tipo de fuentes, ya que son proyectos a gran escala que requieren una inversión alta y una extensión considerable. No obstante, existen otras alternativas de menor escala que no necesitan ubicarse en terrenos de gran amplitud, sino que pueden ser implementadas en zonas urbanas sin afectar condiciones socio-culturales de una población. La energía piezoeléctrica es una de estas alternativas que tiene como fundamento la transformación de un esfuerzo mecánico en energía eléctrica, por medio de objetos especiales como materiales cerámicos piezoeléctricos que por su química son inmunes a distintas condiciones atmosféricas como la humedad, y que además poseen propiedades mecánicas responsables de la generación la energía mencionada y que será almacenada en un supercondensador, para luego ser empleada en el abastecimiento energético de distintos objetos y lugares. (González, Cesari & Vicioli, 2009) Existen varios casos de estudio donde ya se ha aplicado este tipo de energía renovable, países alrededor del mundo como Londres, Estados Unidos, México, Bangkok, Abu Dhabi, Hong Kong, entre otros, han implementado estas baldosas en lugares de alto flujo de personas como aeropuertos, universidades, parques, carreteras, edificios y demás, obteniendo un beneficio energético para suplir la red local de alumbrado. (Pavegen, 2019)

Por medio de una comparación entre la energía convencional y la energía alternativa mencionada, esta investigación propone realizar un estudio de prefactibilidad por la renovación de las fuentes de energía convencionales ya implantadas en el sistema eléctrico de la ciudad a partir de un sistema de baldosas piezoeléctricas implantado en el parque de Usaquén, de acuerdo al flujo de personas, las condiciones socio-económicas del sector y la aplicabilidad técnica de la energía piezoeléctrica en esta zona. Conforme a los resultados obtenidos, se espera conocer si este sistema produciría la suficiente energía para abastecer el alumbrado público del sector, además de generar un ahorro económico, uno energético que compense la inversión del sistema piezoeléctrico y una mitigación de la huella de carbono producida en la ciudad.

## 4. Planteamiento del problema

La producción y el uso energético ha sido una fuente fundamental para abastecer las necesidades humanas y mantener un estilo de vida, que beneficia factores como el transporte, la salud, la alimentación y el trabajo a lo largo del tiempo. Su consumo a nivel mundial va en aumento principalmente por el crecimiento demográfico y económico que genera una alta demanda de las necesidades mencionadas anteriormente, y que provocará en un futuro una alteración en el sector energético. Actualmente los combustibles fósiles siguen siendo la principal fuente de energía (gas natural, petróleo, carbón, etc.) y su producción ha provocado diferentes impactos ambientales que traen consigo desastres naturales, el cambio climático y un consumo acelerado de los recursos naturales.

En Colombia, la explotación y producción energética se constituye en un 93% de recursos primarios de origen fósil, un 4% de hidroenergía y un 3% de biomasa y residuos. El país depende en cerca de un 78% de combustibles fósiles para abastecer la demanda energética. (González Estrada & Valencia Marín, 2015)

El uso de energía convencional para iluminación urbana resulta ser un insumo de alto costo para los ciudadanos que costean con sus impuestos el pago de ese servicio. Dicho servicio implica además materiales para el transporte de la energía como estaciones de distribución y redes eléctricas que afectan los entornos urbanos y la calidad de vida de la población, por esta razón se deteriora las vías y las zonas de recreación y descanso que son utilizadas por gran parte de la población en espacios de ocio. Esta situación se presenta en el Parque de Usaquén razón por la cual con el proyecto de estudio de prefactibilidad para la implementación de baldosas piezoeléctricas se pretende contribuir a mitigar los impactos señalados y con ellos mejorar la calidad del ambiente urbano en este espacio público de gran importancia para la localidad y con ello ofrecer un espacio adecuado para la población que hacen uso de esta zona.

## 5. Justificación

Según datos estadísticos, para el año 2040 la demanda energética en el mundo crecerá en un 25%; por otro lado, en América Latina se presenta una tasa de crecimiento de 2,4% al año entre el 2000 y 2030, por lo que se concluye que el planeta no podrá abastecer con sus recursos tal demanda. Es así que nace la necesidad en buscar alternativas que satisfagan estas demandas excesivas de la humanidad evitando que su uso genere algún tipo de emisión contaminante. (Osorio Rosado, 2016)

Según lo anterior, podemos hablar de alternativas ecoeficientes, que según el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible se definen como:

> "Bienes con precios competitivos y servicios que satisfagan las necesidades humanas y brinden calidad de vida, a la vez reducen progresivamente los impactos medioambientales de bienes y la intensidad de uso de los recursos, a través del análisis del ciclo de vida de un producto o servicio". (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD, 2013).

De aquí parte la idea en impulsar proyectos de ecoeficiencia que se adhieran al plan de ordenamiento territorial de un determinado lugar, región o nación, en donde su desarrollo promueva la protección y conservación del medio ambiente y genere un desarrollo económico sostenible. Después de una búsqueda general se encontró que una de las energías alternativas que podrían generar un beneficio a proyectos de ecoeficiencia es la energía piezoeléctrica, la cual tiene como característica principal presentar cristales con la capacidad de polarizar eléctricamente sus dipolos a partir de la aplicación de una tensión eléctrica o mecánica que comprime o deforma el material, produciendo energía eléctrica. (A. Patil, M. Jadhav, S. Joshi, 2015). Por esta razón y hablando desde un ámbito económico, energético, social y ecológico, se pone en duda qué tan eficiente llega a ser un sistema de fuentes de energía alternativa en comparación con sistemas de fuentes de energía convencional.

Dentro de la lógica de aportar alternativas para mejorar la eficiencia energética en el suministro de energía para la zona urbana se propone la implementación de baldosas piezoeléctricas basadas en el uso de energía endosomática cuya fuente son los habitantes que se desplazan por un espacio determinado, en este caso el Parque de Usaquén, lugar de alta densidad de ocupación por transeúntes o habitantes que buscan disfrutar de tiempos libres en horas determinadas del día o los fines de semana en horas nocturnas.

## 6. Objetivos

*General:*

- Realizar un estudio de prefactibilidad ambiental para sustitución de fuentes de energía convencionales por baldosas piezoeléctricas para alumbrado público en el parque de Usaquén.

*Específicos:*

- Analizar la receptividad cultural de la población del área de influencia en relación con una posible aplicación de generación de energía a partir de baldosas piezoeléctricas, teniendo como referente los usos del suelo establecidos para la zona de estudio.
- Desarrollar una evaluación de impacto ambiental que permita identificar los posibles efectos que se puedan generar en el área de influencia por la implementación del proyecto.
- Formular lineamientos para el estudio de factibilidad en la implementación del parque piezoeléctrico de Usaquén como proyecto piloto para la ciudad de Bogotá.

## 7. Marco de referencia

### 7.1 Antecedentes

Es posible diferenciar a Colombia como una de las potencias por explotar en cuanto a energías renovables, desde su bien consolidado marco normativo establecido hace más de 20 años con la Ley 1715 de 2014 (que regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional) y las reformas realizadas a las leyes 142 y 143 (que crearon nuevas oportunidades comerciales para distintas empresas nacionales y extranjeras) (Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia, 2014), hasta sus condiciones geográficas y riqueza de recursos naturales que le permiten gozar de un gran potencial energético a partir de energías eólicas, solares, hidráulicas, geotérmicas, mareomotrices, entre otras. (PROCOLOMBIA. 2015)

Teniendo en cuenta estas dos fortalezas que tiene el país no es difícil imaginar que la mayoría o un gran porcentaje de Colombia se abastece a partir de la energía generada por fuentes no convencionales, pero que tristemente solo entre el 1 y 3% de la energía proviene de estas. Sin embargo, existe otro tipo de energía renovable no mencionada anteriormente debido a su falta de exploración y que a pequeña escala podría ser el motivo por el cual se impulse el uso y transición a este tipo de energías en el país,

que tienen como ventajas principales la lucha contra el cambio climático, sus reservas o fuentes de energía inagotables, la disminución de la dependencia energética y la creciente competitividad a causa de la reducción drástica en los costos. (Acciona.com, 2018)

La piezoelectricidad o energía piezoeléctrica es aquella energía generada al realizar un esfuerzo mecánico en objetos especiales como materiales cerámicos piezoeléctricos que por su química son inmunes a distintas condiciones atmosféricas como la humedad, y que además poseen propiedades mecánicas responsables de la generación de energía almacenada en un supercondensador y empleada posteriormente para abastecer de electricidad distintos objetos y lugares. (González, Cesari & Vicioli, 2009) Esta energía se ve establecida más comúnmente en lugares reducidos lo que la hace más sencilla de implementar y de estudiar con el fin de analizar los resultados de su eficiencia, factor que serviría para evidenciar la importancia en realizar la transición de energías convencionales a aquellas provenientes de fuentes naturales inagotables, disminuyendo costos y emisiones contaminantes.

## 7.2 Estado del arte

- El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá. (Tamayo, D. 2017) Se realizó el análisis de los elementos necesarios para la implementación del sistema piezoeléctrico en un perfil transversal vial en la ciudad de población Bogotá, para ello se efectuó la búsqueda de información del sistema y del proceso de instalación con su respectivo análisis característico, los impactos y beneficios en los aspectos ambientales, técnicos, y económicos.
- Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) Mediante Optimización Topológica que Maximice la Transformación de Energía Mecánica en Eléctrica Generada por un Ser Humano al Caminar (Sepúlveda, E. 2014) La investigación que se plasma en este texto propone el uso de los Energy Harvesting específicamente en la aplicación del calzado, sacando provecho de la energía que el ser humano desperdicia al caminar, para convertirla en energía eléctrica que pueda ser aprovechada.
- Análisis de conveniencia de la implementación de la energía piezoeléctrica en las salas de Cine Colombia en la ciudad de Bogotá D.C. La energía piezoeléctrica ha empezado a tomar importancia en implementación de energías alternativas, al retomar principios físicos y convertirlos en beneficios medioambientales actuales. (Contreras Calderón y Morales Espitia, 2016)

## 7.3 Marco conceptual

### 7.3.1 Energía y fuentes de energía

La energía describe la capacidad de un sistema para producir efectos externos, esta se produce de diferentes formas: energía mecánica, energía potencial, energía cinética, calor o energía térmica, energía magnética, masa, energía eléctrica, energía radiante y energía química. El sol es la principal fuente de energía, sus formas primarias son calor y luz, que son transformados y absorbidos por el medio ambiente de múltiples maneras. Algunas de estas transformaciones terminan en flujos de

energía renovable como la biomasa y la energía eólica. (N.L. Panwara, 2011) En cuanto a la eficiencia energética, se puede decir que es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles. A través de la eficiencia energética, se busca obtener el mayor provecho de la energía, bien sea a partir del uso de una forma primaria de energía o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre el ambiente y los recursos naturales renovables. (Ministerio de Minas y Energía, 2014)

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y se presentan de manera inagotable a escala humana, se consideran fuentes de energía limpias, que pueden sustituir la energía convencional actual, ayudando a la mitigación de gases de efecto invernadero y el calentamiento global. Este tipo de energía ambientalmente sostenible está disponible a nivel mundial, pero en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. (Ministerio de Minas y Energía, 2014) Por otro lado, la energía convencional se utiliza de forma intensiva y está ampliamente comercializada en el país. La energía convencional se encuentra en la naturaleza de manera limitada por lo que, una vez se haya consumido no puede volver a sustituirse, es decir, su velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración. (Romo Fernández, 2016)

### 7.3.2 Estudio de prefactibilidad ambiental

Se refiere a la etapa de preparación y ejecución de un proyecto de inversión, posterior al nacimiento de la idea inicial y anterior al estudio de factibilidad, donde se detallan más los aspectos señalados como términos de referencia, profundizando en los cálculos, estimaciones e investigaciones, a fin de identificar las alternativas convenientes, que se estudiarán como factibles. (Camero, 2004) El objetivo de este estudio de prefactibilidad ambiental es identificar los factores ecológicos, económicos, sociales y culturales que puedan afectar el proyecto. Este estudio facilitaría que posteriormente se realicen análisis de estudios de mercado, tecnología, financiamiento y aspectos administrativos para la factibilidad del proyecto.

### 7.3.3 Estudio de impacto ambiental (EIA)

Este documento permite realizar una predicción, identificación, valoración y consideración de medidas preventivas o enmendar las secuelas de los efectos ambientales que puede generar ciertas actividades antrópicas sobre la calidad de vida del ser humano y el medio que lo rodea. El objetivo de este estudio es la toma de decisiones en cuanto a la conformidad ambiental y social por la generación de nuevos proyectos en un lugar determinado. Para la realización de este estudio existen diferentes metodologías que permiten identificar si hay o no un impacto (positivo o negativo) sobre los factores ambientales que se intervienen a raíz del proyecto a realizar, estas metodologías están plasmadas en un matriz de impacto ambiental. Se evaluaron las metodologías de Sorensen, Mc Harg, M.O.P.U. y Conesa Fernández. (Coria, 2008)

La metodología escogida fue la de Vicente Conesa, la cual se compone por una matriz de causa-efecto

donde se analizan diez parámetros y a su vez, dentro de los mismos, se establece una serie de atributos, al plasmarlos en la ecuación que establece el autor arrojan un resultado numérico que corresponde a la importancia del impacto, posteriormente establece un rango de 0-100 y a los cuatro rangos propuestos le asigna la clase de efecto que hace referencia a si es compatible, moderado, crítico o severo y a su vez establece un color para cada uno. (Coria, 2008)

### 7.4 Marco teórico

La energía es una magnitud física abstracta. No puede observarse directamente, pero si las variaciones que esta presenta en otros sistemas, es decir, que la energía se puede clasificar conforme a las características con que esta se manifiesta. Cuando se estudian los cuerpos a partir de su posición y velocidad podemos decir que se habla de una energía mecánica, que a su vez se integra por una energía cinética y una energía potencial. (Encyclopedia Britannica, 2012)

La ecuación general de energía mecánica, está definida por:

$$E_M = E_C + E_P \quad (1)$$

La energía cinética depende de la masa y velocidad del cuerpo en movimiento. Entre mayor masa y mayor velocidad, mayor será la energía cinética. Por otro lado, la energía potencial es la energía que se encuentra almacenada dentro de un sistema, o la que el sistema puede entregar, también se puede referir a la posición de un objeto dentro del concepto de energía mecánica. (Encyclopedia Britannica, 2012)

A continuación, encontramos la fórmula para energía cinética (2) y energía potencial (3).

$$E_C = \frac{1}{2} .m.V^2 \quad (2)$$

$$E_P = m.g.h \quad (3)$$

El concepto de trabajo se puede relacionar como la cantidad de energía necesaria para producir la fuerza que mueva un objeto o lo deforme. Muchas de las formas de trabajo conocidas son probables gracias a la energía eléctrica. Esta energía se produce cuando existe una diferencia de potencial entre dos puntos unidos entre sí por un conductor eléctrico. (Encyclopedia Britannica, 2012)

La ecuación que representa el trabajo es la siguiente:

$$T = F.d \quad (4)$$

El interés por el uso de fuentes de energía renovables ha dado paso al estudio y desarrollo de diferentes

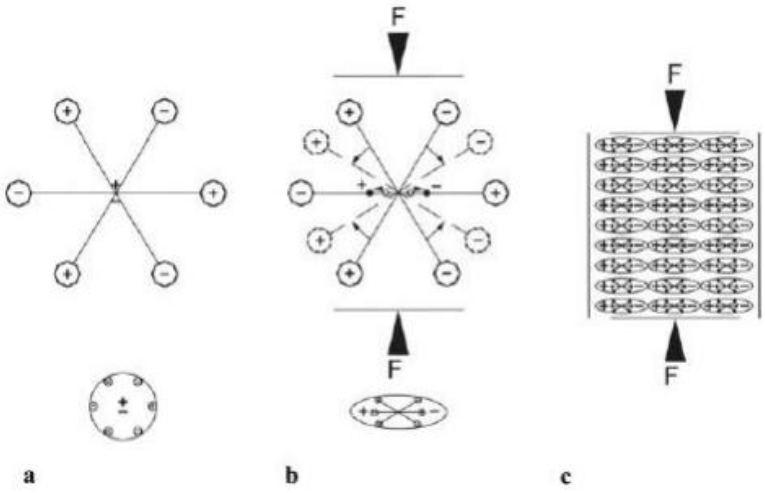
alternativas como ¨energy harvesting¨ que permite la conversión de energía ambiental vibratoria en energía eléctrica. La recolección de energía (energy harvesting), se refiere a la captura de pequeñas cantidades de energía de una o más fuentes que se encuentran alrededor, acumulándola y almacenándola para su uso posterior. Es posible encontrar cinco grupos de sistemas de recolección de energía: los mecánicos, los magnéticos, los radiantes, los térmicos y los bioquímicos. (Rincón-Jara R., 2012)

Dentro del sistema mecánico podemos encontrar los que usan la presión, la cinética, las vibraciones y las diversas actividades humanas como fuente principal de obtención de energía, la cual es transformada mediante generadores DC/AC, elementos piezoeléctricos, electrostáticos o inductivos. La energía que se origina de las vibraciones puede ser convertida en energía eléctrica usando tres tipos de transductores: electromagnéticos, electroestáticos y piezoeléctricos. Los transductores piezoeléctricos suelen ser los más utilizados debido a su alta conversión de energía mecánica a energía eléctrica. (Rincón-Jara R., 2012)

Aquí entramos en contexto sobre el efecto piezoeléctrico, que se entiende como la propiedad que presentan ciertos cristales, para hacer que sus dipolos se polarizan eléctricamente cuando se les aplica una tensión mecánica o eléctrica, de esta forma se produce energía eléctrica a partir de la deformación o compresión del material" (A. Patil, M. Jadhav, S. Joshi, 2015). Es así que el grado de polarización está directamente relacionado con la tensión aplicada. De forma directa (esfuerzo mecánico en carga eléctrica) e inversa (energía eléctrica en energía de deformación mecánica). (Jiménez Rubio, 2018).

Antes de someter al cristal piezoeléctrico a tensión, los centros de gravedad de las cargas positivas y negativas coinciden (Figura 1.a). Cuando se ejerce cierta tensión, su estructura reticular interna se deforma, desalineando los centros de gravedad de las cargas y generando pequeños dipolos (Figura 1.b). Los polos opuestos que están enfrentados se cancelan, y aparece una distribución de cargas en la superficie del material (Figura 1.c). El material queda polarizado, y esta polarización genera un campo eléctrico. De igual manera, se genera un efecto piezoeléctrico inverso, que indica el efecto recíproco al directo. (Molina, Á.G., 2018).

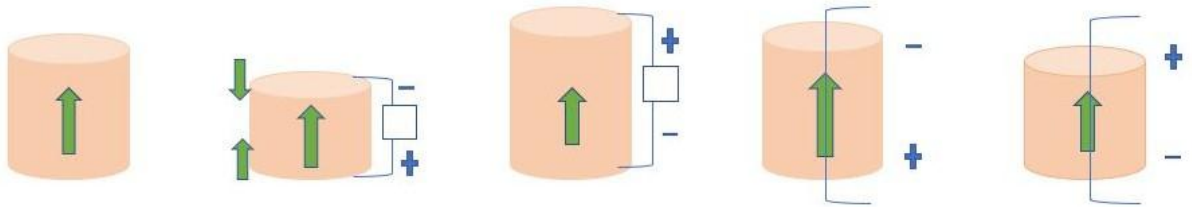
*Figura 1. Modelo Molecular*




*Fuente. Molina, Á. G. (18 de junio de 2018). Diseño de un Sistema de energy harvesting basado en piezoeléctricos. Tomado de https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/33621/TFG_Gomez_Molina_2018.pdf?sequence=1*

Al aplicar un campo eléctrico al cristal piezoeléctrico este se deforma de manera proporcional a la intensidad del mismo. Como hemos comentado antes, al aplicar un campo eléctrico el elemento piezoeléctrico queda polarizado (figura 2.). Si la presión es ejercida a lo largo de la dirección de polarización (figura 2.b1), lo que equivale a comprimir el material piezoeléctrico, el voltaje generado tiene la misma polaridad que la polarización interna del material piezoeléctrico. Si la presión es ejercida perpendicular a la dirección de polarización (figura 2.b2), lo que equivale a estirar el material piezoeléctrico, el voltaje generado tiene la polaridad inversa respecto a la polarización del material piezoeléctrico. En los dos casos se genera un voltaje a partir de variaciones en el momento dipolar. (Molina, Á.G., 2018)

*Figura 2. Esquema efecto piezoeléctrico*



*Fuente. Molina, Á. G. (18 de junio de 2018). Diseño de un Sistema de energy harvesting basado en piezoeléctricos. Tomado de https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/33621/TFG_Gomez_Molina_2018.pdf?sequence=1*

Se pueden encontrar tres grupos de materiales con propiedades piezoeléctricas: los cristales

individuales, cerámicos generales, y polímeros.

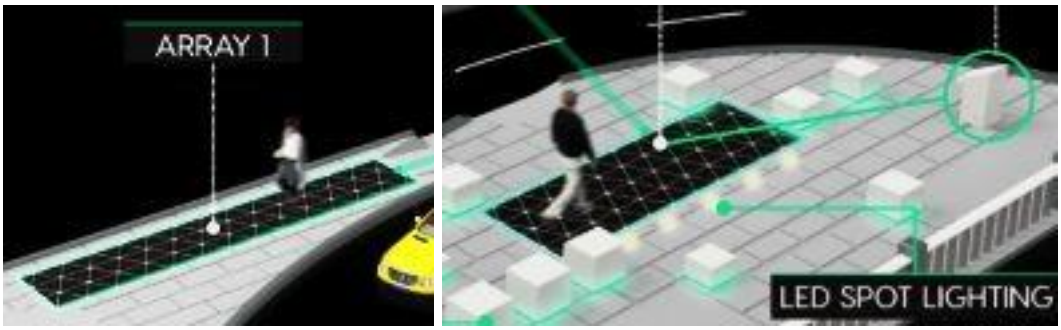
*Tabla 1. Grupo de materiales piezoeléctricos*

| Grupo de material | Material piezoeléctrico |
|---|---|
| Cristal individual | Cuarzo, Niobato de magnesio de plomo- titanato de plomo (PMN-PT) |
| Cerámicos general | Oxido de zinc, nitrito de aluminio, Titanato de circonio de plomo (PZT), Niobato de potasio de sodio (KNN), Titanato de bario (BT) |
| Polímeros duros y suaves | PZT4, PZT8, PZT5A, PZT5H, PVDF |

*Fuente. Molina, Á. G. (18 de junio de 2018). Diseño de un Sistema de energy harvesting basado en piezoeléctricos. Tomado de https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/33621/TFG_Gomez_Molina_2018.pdf?sequence=1*

Una vez aclarados estos conceptos, se presenta el siguiente esquema tomado de Pavegen ©, en donde se muestra la manera en que transitarían las personas y generarían energía eléctrica por medio de sus pasos.

*Figura 3. Esquema de paso y generación de energía*




*Fuente. Pavegen, 2016. Tomado de https://pavegen.com/case-studies/washington/*

### 7.5 Marco geográfico y descripción del territorio

El área de estudio se centra en la localidad de Usaquén, ubicada al norte de la ciudad de Bogotá en el departamento de Cundinamarca. Con una superficie total de 65.31 km2 en las coordenadas 4°43′11″N 74°02′12″O y una altitud media de 2650 m.s.n.m. La localidad cuenta con una población de 449, 621 habitantes (DANE, 2005) y en promedio circulan 300 personas al día. De acuerdo con el Decreto 606 de 2001 con lo establecido en el POT, el parque de Usaquén hace parte de los sectores de interés cultural y se encuentra dentro del grupo de sectores antiguos correspondiente a los núcleos

fundacionales anexados en el Decreto Distrital 619 de 2000. (Decreto 582 de 2012, 2012).

*Figura 4. Fotografías panorámicas del Parque de Usaquén, 2019.*

*Fuente. Elaboración propia*, 2019

*Figura 5. UPZ N° 14 Usaquén, Listado de Sectores Normativas.*

*Fuente. Secretaria Distrital de Planeación, 2018. Tomado de:http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/usospermitidos_1.pdf*

Tabla 2 *UPZ N° 14 Usaquén, Listado de Sectores Normativas, 2018.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL NETA | CONSOLIDACIÓN URBANÍSTICA |
| 2 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL CON ZONAS DELIMITADAS DE COMERCIO Y SERVICIOS | CONSOLIDACIÓN CON DENSIFICACIÓN MODERADA |
| 3 | DOTACIONAL | EQUIPAMIENTOS COLECTIVOS | CONSOLIDACIÓN DE SECTORES URBANOS ESPECIALES |
| 4 | COMERCIO Y SERVICIOS | SERVICIOS EMPRESARIALES | CONSOLIDACIÓN URBANÍSTICA |
| 5 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL NETA | CONSOLIDACIÓN URBANÍSTICA |
| 6 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL CON ACTIVIDAD ECONÓMICA EN LA VIVIENDA | MEJORAMIENTO INTEGRAL MODALIDAD COMPLEMENTARIA |
| 7 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL NETA | DESARROLLO |
| 8 | COMERCIO Y SERVICIOS | COMERCIO CUALIFICADO | CONSOLIDACIÓN CON CAMBIO DE PATRÓN |
| 9 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL CON ACTIVIDAD ECONÓMICA EN LA VIVIENDA | CONSOLIDACIÓN CON DENSIFICACIÓN MODERADA |
| 10 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL NETA | CONSOLIDACIÓN URBANÍSTICA |
| 11 | DOTACIONAL | SERVICIOS URBANOS BÁSICOS | CONSOLIDACIÓN DE SECTORES URBANOS ESPECIALES |
| 12 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL CON ZONAS DELIMITADAS DE COMERCIO Y SERVICIOS | CONSOLIDACIÓN CON DENSIFICACIÓN MODERADA |
| 13 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL NETA | DESARROLLO |
| 14 | RESIDENCIAL | RESIDENCIAL CON ZONAS DELIMITADAS DE COMERCIO Y SERVICIOS | CONSOLIDACIÓN URBANÍSTICA |
| 15 | ÁREA DE ACTIVIDAD CENTRAL | NÚCLEO FUNDACIONAL USAQUÉN | CONSERVACIÓN DE SECTORES ANTIGUOS |

*Fuente. Secretaria Distrital de Planeación, 2018. Tomado de:*

*http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/usospermitidos_1.pdf*

### 7.6 Marco institucional

El ministerio de Minas y Energía, la Comisión de Regulación de Energía y Gas (GREG), la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME), el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y las Secretaría Distrital de Ambiente, Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), Secretaría de Planeación, Hábitat hacen parte de las entidades del gobierno nacional, encargadas de realizar las competencias administrativas con sujeción a lo dispuesto en la ley 1715 de 2014, por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional.

### 7.7 Marco normativo

*Tabla 3. Normatividad aplicable al proyecto*

| Marco Normativo | Descripción |
|---|---|
| **Ley 1715 de 2014** | La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda. (Ley 1715 de 2014, 2014) |

| | |
|---|---|
| **Resolución 1283 de 2016** | Mediante esta resolución se establece los procedimientos y requisitos para la expedición y certificación de beneficio por inversiones en proyectos relacionados con fuentes no convencionales de energías renovables. (Resolución 1283 de 2016, 2017) |
| **Decreto 2143 de 2015 9** | Con este decreto se adiciona el decreto único reglamentario del sector administrativo de minas y energía, Decreto 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de incentivos establecidos en la ley 1715 de 2014. (Decreto 2143 de 2015, 2015) |
| **Decreto 582 de 2012** | Por medio del cual se actualiza la reglamentación de la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) No. 14 USAQUÉN, ubicada en la Localidad de Usaquén. (Decreto 582 de 2012, 2012) |

*Fuente. Elaboración propia, 2019.*

# 8. Metodología

## 8.1 Metodología de la investigación.

La receptividad cultural por parte de la población de la zona de estudio se realizó con el propósito de observar qué tan aceptable sería la aplicación del sistema piezoeléctrico en el parque de Usaquén. Para esta fase se llevó a cabo la elaboración de una encuesta de tipo descriptiva, los datos serán tomados durante un mes (30 días) y se establecerá un modelo estadístico para el análisis de la información recopilada, además durante este tiempo se realizará un conteo diariamente a fin de establecer el promedio de personas que transitan por la zona de estudio y cuál es el día y la hora del día más concurrido.

### 8.1.1 Alcance y enfoque de la investigación.

De acuerdo a los objetivos propuestos, la metodología de este proyecto identifica un enfoque mixto debido a que se exponen elementos cualitativos y cuantitativos, de igual manera se determinó un alcance de tipo descriptivo y correlacional, el cual según Hernández Sampieri (1997), contemplan el fenómeno estudiado al igual que sus componentes, midiendo conceptos y definiendo variables, y en lo correlacional brindan predicciones explicando la relación y cuantificación de relaciones entre variables. En el primer objetivo específico: analizar la receptividad cultural de la población del área de influencia en relación con una posible aplicación de generación de energía a partir de baldosas

piezoeléctricas, teniendo como referente los usos del suelo establecidos para la zona de estudio, se pudieron apreciar estos componentes cuantitativos debido al análisis documental y estadístico que se realizó para seleccionar la población y la muestra de estudio a partir del método estadístico seleccionado. Asimismo, presenta componentes cualitativos ya que se indagó por la percepción cultural presentada por parte de una muestra de la población de visitantes del parque de Usaquén y entender su perspectiva por la implantación del sistema piezoeléctrico en cuestión, en donde se analizó la información recolectada a través del método de encuesta con esquema de preguntas de respuesta múltiple. Para el segundo objetivo específico: desarrollar una evaluación de impacto ambiental que permita identificar los posibles efectos que se puedan generar en el área de influencia por la implementación del proyecto, se tuvieron en cuenta elementos cualitativos resultantes de la elaboración de la matriz de evaluación de impacto ambiental Conesa, a fin de determinar qué tanto es el impacto generado por el proyecto y de qué manera se pueden aplicar medidas de manejo ambiental que controlen o mitiguen los daños ocasionados. Finalmente, el tercer objetivo específico formular lineamientos para el estudio de factibilidad en la implementación del parque piezoeléctrico de Usaquén como proyecto piloto para la ciudad de Bogotá, hace una síntesis de los dos primeros objetivos, puesto que reúne los resultados del primer y segundo objetivo, generando como resultados consideraciones para la siguiente etapa del proyecto conocida como factibilidad.

### 8.1.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis se consideró como el parque de Usaquén, el cual se encuentra en la localidad de Usaquén, ubicada al norte de la ciudad de Bogotá en el departamento de Cundinamarca, Colombia. Este es un parque colonial concurrido por muchos visitantes locales y extranjeros, con restaurantes, bares, zonas culturales y zonas verdes que atraen a gran cantidad de personas. La localidad cuenta con una población de 449, 621 habitantes (DANE, 2005) y en promedio circulan 300 personas al día. De acuerdo con el Decreto 606 de 2001 con lo establecido en el POT, el parque de Usaquén hace parte de los sectores de interés cultural y se encuentra dentro del grupo de sectores antiguos correspondiente a los núcleos fundacionales anexados en el Decreto Distrital 619 de 2000.

### 8.1.3 Muestra y población (informantes)

A fin de escoger qué tipo de informantes se deberían tener en cuenta a la hora de realizar el estudio de recepción cultural, la población escogida incluyó aquellos visitantes frecuentes del parque que podrían influir en la toma de decisiones de las diferentes etapas del proyecto, además, para seleccionar una muestra significativa a la cual se le realizaría la encuesta de receptividad cultural, se utilizó el método estadístico muestreo aleatorio simple, un método de muestreo reconocido que permite, a partir de unas variables y parámetros relacionados con el nivel de confianza y probabilidad de que ocurra el evento estudiado, encontrar el tamaño de la muestra necesario para dicho estudio, asimismo se tuvo en cuenta el cálculo para encontrar el tamaño de una muestra infinita ya que no existe un número de población exacta para el parque de Usaquén. (Guía práctica para la construcción de muestras, 2012) A continuación se muestra la ecuación necesaria para el cálculo de la muestra en cuestión:

$$n = \frac{Z_\alpha^2 * p * q}{e^2}$$

En donde:
**n** = Tamaño de muestra buscado
Z = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)" e = Error de estimación máximo aceptado
p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)
q = (1 – p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

### 8.1.4 Variables, aspectos e indicadores (ver ejemplo 1)

*Tabla 4. Indicadores respecto a las variables pertinentes para el proyecto.*

| Dimensión | Variable | Aspecto de la variable |
|---|---|---|
| Social | Grado de aceptación | Receptividad cultural |
| Ecológico | Naturaleza del impacto | Magnitud impacto ambiental |
| Económico | Costo de operación | Abastecimiento energético |
| | | Ahorro económico |

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

### 8.2 Esquema metodológico por objetivo

A continuación, se resume en un diagrama de flujo las actividades realizadas por objetivo, con el fin de explicar la consecuencia de estas y las etapas que se consideraron para ejecutar tal objetivo.

***Objetivo específico 1:*** *Analizar la receptividad cultural de la población del área de influencia en relación con una posible aplicación de generación de energía a partir de baldosas piezoeléctricas, teniendo como referente los usos del suelo establecidos para la zona de estudio.*

*Figura 6. Esquema metodológico del objetivo específico 1.*

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

A fin de analizar la receptividad de la población transeúnte en el parque de Usaquén por la implementación del proyecto, se escogió un método estadístico para conocer la muestra a estudiar. El método aleatorio simple permitió calcular el tamaño de una muestra infinita, ya que no se cuenta con un número de población exacta para el lugar de estudio. Teniendo la muestra, se diseñó una encuesta con seis preguntas (ver anexo 1) y se fijó un horario y frecuencia para la toma de datos. La actividad se desarrolló durante 30 días que fueron seleccionados aleatoriamente; para cada día se escogió una hora dentro del horario de 6:00 p.m. a 10:00 p.m., y a lo largo de este tiempo se realizó un conteo del número de personas que transitan en una hora para establecer el promedio de personas que pasa en un mes. Finalmente, la receptividad cultural se evaluó a partir de los resultados de las encuestas por medio de gráficas, las cuales reflejan una reacción o respuesta por parte de la muestra respecto a la instalación de las baldosas piezoeléctricas.

***Objetivo específico 2:*** *Desarrollar una evaluación de impacto ambiental que permita identificar los posibles efectos que se puedan generar en el área de influencia por la implementación del proyecto.*

*Figura 7. Esquema metodológico del objetivo específico 2.*

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

Para el segundo objetivo se realizó una revisión de fuentes bibliográficas que describieran metodologías utilizadas para la elaboración de estudios de impacto ambiental. Se escogió la metodología de Vicente Conesa, la cual nos permitió describir los componentes y los impactos ambientales que se ven afectados antes y después de la instalación de las baldosas, evaluando criterios cualitativos como naturaleza, momento, duración, periodicidad, acumulación, sinergia, efecto, reversibilidad y recuperabilidad para cada impacto, a fin de determinar qué tipo de impacto (positivo o negativo) se genera en cada componente, comparando sus resultados y formulando las medidas de manejo ambiental pertinentes. (Coria, 2008)

***Objetivo específico 3:*** *Formular lineamientos para el estudio de factibilidad en la implementación del parque piezoeléctrico de Usaquén como proyecto piloto para la ciudad de Bogotá*

*Figura 8. Esquema metodológico del objetivo especifico 3.*

*Figura 8. Esquema metodológico del objetivo específico 3.*

*Fuente: Elaboración propia ,2019.*

En cuanto a la formulación de lineamientos para una posterior etapa de factibilidad, se revisó y sintetizó la información resultante del primer objetivo; se establecieron las acciones que se deben tener en cuenta para la construcción de un parque piezoeléctrico según los resultados de los criterios cualitativos evaluados en la matriz de impacto ambiental. Asimismo, se realizó un análisis del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá para conocer cómo el proyecto se alinea con la visión de este, reconociendo los usos permitidos para la zona de estudio de acuerdo con la Unidad de Planeamiento Zonal de Usaquén.

### 8.3 Cuadro resumen

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las actividades, técnicas, instrumentos y resultados esperados por cada objetivo específico a fin de sintetizar toda la información previamente descrita.

Tabla 5. *Resumen de actividades, técnicas e instrumentos de recolección y análisis de información por objetivo.*

| Objetivo General | Objetivos Específicos | Actividades | Técnicas | Instrumentos | Resultados Esperados |
|---|---|---|---|---|---|
| *Realizar un estudio de prefactibilidad por renovación de fuentes de energía para alumbrado público, a partir de baldosas piezoeléctricas como alternativa energética en el parque de Usaquén.* | **Objetivo 1:** Analizar la receptividad cultural de la población del área de influencia en relación con una posible aplicación de generación de energía a partir de baldosas piezoeléctricas, teniendo como referente los usos del suelo establecidos para la zona de estudio. | Seleccionar la población y la muestra de estudio. | Análisis documental | Bases de datos institucionales y académicas. | Conocer la receptividad y/o predisposición por parte de una muestra de la población del área de influencia de acuerdo con la instauración de un sistema de baldosas piezoeléctricas en el parque de Usaquén, comprendiendo qué tan aceptable culturalmente será el proyecto en cuestión, además, los datos obtenidos por las encuestas permitirán tomar decisiones y acciones en etapas posteriores. |
| | | Identificación de las variables de estudio. | Análisis estadístico (Método aleatorio simple) | Matriz de datos. | |
| | | Definir el tipo de encuesta de estudio y modelo estadístico. | | Gráficas de Excel | |
| | | Fijar la duración de la toma de datos. | Análisis de información recolectada con encuestas. | Esquema de preguntas con respuesta múltiple y bitácora de campo. | |
| | | | Observación (anotaciones, conteo de personas y registro fotográfico). | | |
| | **Objetivo 2:** Desarrollar una evaluación de impacto ambiental que permita identificar los posibles efectos que se puedan generar en el área de influencia por la implementación del proyecto. | Levantamiento de línea base (datos necesarios para la elaboración del EIA) | Análisis documental | Bases de datos institucionales. | Establecer los posibles componentes afectados, al igual que los aspectos e impactos ambientales ocasionados por la ejecución del proyecto. |
| | | Revisión bibliográfica de metodologías para la elaboración del EIA. | | Matriz de impacto ambiental Conesa. | Identificación del nivel de los impactos identificados (ya sean positivos o negativos) con el fin planificar y ejecutar la gestión ambiental necesaria para el proyecto. |
| | | Formular planes de manejo ambiental para los impactos negativos obtenidos. | Análisis de alternativas | Plan de manejo ambiental. | Definición de las acciones esenciales para prevenir, mitigar, controlar, compensar y corregir los impactos |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ambientales negativos que se generen por el desarrollo del proyecto. |
| | **Objetivo 3:** Formular lineamientos para el estudio de factibilidad en la implementación del parque piezoeléctrico de Usaquén como proyecto piloto para la ciudad de Bogotá. | Revisar resultados obtenidos en el desarrollo de los objetivos 1 y 2. | Análisis de información recolectada | Resultados de encuestas. | Caracterización de factores ecológicos, económicos, sociales y culturales que se deban tener en cuenta a la hora de implementar el parque piezoeléctrico como un proyecto piloto para la ciudad de Bogotá. |
| | | Establecer las acciones a tener en cuenta para la construcción de un parque piezoeléctrico de acuerdo a los resultados de la evaluación de impacto ambiental. | | Resultados de matriz de impacto ambiental Conesa. | |
| | | Proponer aspectos a tener en cuenta para la implementación de un proyecto piloto. | Análisis de alternativas. | Densidad de población flotante. | |
| | | | | POT de Bogotá. | |
| | | | | Zonificación de la UPZ de Usaquén. | |

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

## 9. Aspectos Éticos

El trabajo podría identificarse como una investigación sin riesgo debido a que para su desarrollo no se presenta ningún tipo de alteración o intervención a factores biológicos, fisiológicos, psicológicos o sociales, ya que la participación por parte de la muestra estudiada no afecta de ninguna manera a cada individuo en cuestión.

## 10. Análisis y resultados

A continuación, se presentan los resultados con sus respectivos análisis obtenidos por las actividades realizadas en cada objetivo de una manera clara y concisa.

### *10.1 Objetivo #1: Analizar la receptividad cultural de la población del área de influencia en relación con una posible aplicación de generación de energía a partir de baldosas piezoeléctricas, teniendo como referente los usos del suelo establecidos para la zona de estudio.*

Como se mencionó anteriormente, para la elección de la muestra a estudiar se escogió el método estadístico muestreo aleatorio simple, el cual sirvió para calcular el tamaño de la muestra precisa a partir de una población desconocida (muestra con "n" infinita). A continuación, se muestra la ecuación necesaria para el cálculo de la muestra en cuestión:

$$n = \frac{Z_\alpha^2 * p * q}{e^2}$$

*Ecuación X. Cálculo del tamaño de la muestra infinita.*

En donde:
**n** = Tamaño de muestra buscado
Z = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)"
e = Error de estimación máximo aceptado
p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)
q = (1 – p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

En la siguiente tabla se muestran los valores respectivos para ciertos porcentajes de nivel de confianza, el cual se elige según la fiabilidad de la información manejada y recolectada para el proyecto. En este caso se escogió un nivel de confianza del 90%, al cual le corresponde un valor de 1,65 para Z alfa. Es importante aclarar que entre mayor sea el nivel de confianza será menor el error de estimación máximo aceptado.

*Tabla 6.* Valores de Z alfa según nivel de confianza escogido.

| Nivel de confianza | Z alfa |
|---|---|
| 99,7% | 3 |
| 99% | 2,58 |
| 98% | 2,33 |
| 96% | 2,05 |
| 95% | 1,96 |
| **90%** | **1,65** |
| 80% | 1,28 |
| 50% | 0,67 |

*Fuente. Laguna, s.f. Tomado de http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T05.pdf*

A continuación, se determinó la probabilidad de que el proyecto se implemente, por tanto, se le asignó un valor a **P** del **65%.** Asimismo, se determinó un valor de **35%** para **Q** restando **1-P**, indicando la probabilidad de que el proyecto no se implemente.

*Tabla 7.* Valores para probabilidad

| | |
|---|---|
| **P** | 65% |
| **Q** | 35% |

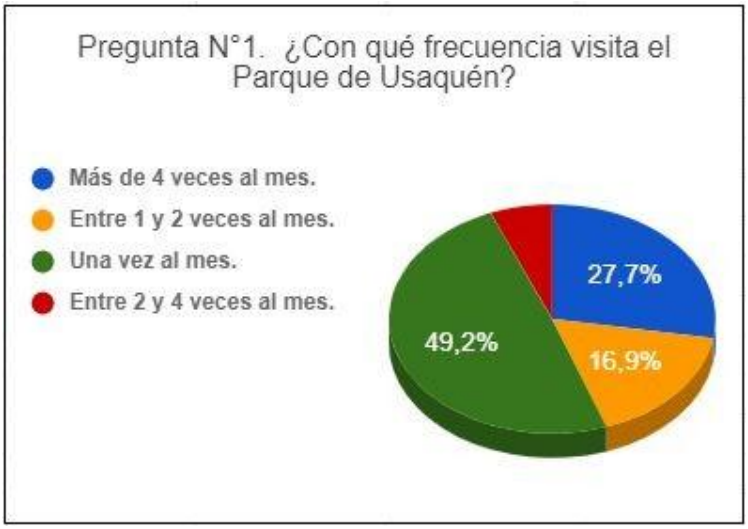
*Fuente. Laguna, s.f. Tomado de http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T05.pdf*

Finalmente, fue necesario determinar el error de estimación máximo aceptado, considerando un margen de error del **10%** debido a que la temática del proyecto es innovadora pero un tanto desconocida. Una vez aclarados estos valores se obtuvo un tamaño de muestra de **62** personas a las cuales se sugiere realizarles la encuesta. La ecuación para calcular el tamaño de la muestra fue la siguiente:

$$\frac{(1{,}65)^2 \times 65\% \times 35\%}{(10\%)^2} = 61{,}93 \simeq \mathbf{62} (5)$$

De acuerdo con lo anterior se llevó a cabo la encuesta correspondiente al estudio de receptividad cultural (ver anexo 1) encuestando a 65 personas, presentando los resultados en los siguientes gráficos circulares:

*Figura 9. Pregunta N°1. Frecuencia de visitas al parque de Usaquén*




*Fuente: Elaboración propia, 2019*

La frecuencia con que las personas visitan el parque se evaluó a partir de 4 opciones de respuesta. La gráfica muestra que el 49,2%, representados por 32 encuestados, visitan el parque 1 vez al mes; el 27,7% (18 personas) más de 4 veces al mes, el 16, 9% (11 personas) entre 1 y 2 veces al mes y solo el 6,2% (4 personas) concurre el parque entre 2 y 4 veces al mes. Los datos encontrados manifiestan que la población flotante es superior a la población fija, es decir, el Parque de Usaquén es visitado por más personas que no necesariamente viven o trabajan en la zona, siendo este un beneficio para la eficiencia energética del

proyecto, considerando que habrá un tránsito de visitantes diferentes a la comunidad que se encuentra constantemente en la zona.

*Figura 10. Pregunta N°2. Horario en que se transita el parque*

*Fuente. Elaboración propia*

Con respecto al flujo de personas que visitan el parque es posible afirmar que el horario en que las personas transitan en mayor medida es la tarde con un valor de 41,5% (27 personas) de la muestra sugerida de 65 personas para el presente estudio. Lo anterior seguido de un 30,8% (20 personas) durante todo el día, 23,1% (15 personas) en la noche y finalmente el 4,6% (3 personas) en la mañana. El paso de transeúntes dado con más frecuencia en horas de la tarde implica que este lapso puede ser tomado en cuenta para la toma decisiones en posteriores etapas de la prefactibilidad. Por otro lado, el porcentaje de 30,8% de la muestra, que corresponde al paso constante de personas, garantiza la generación de energía en diferentes momentos del día.

*Figura 11. Pregunta N°3. Número de personas con que se visita el parque*

*Fuente. Elaboración propia*

Las personas visitan el parque en un 50,8% (33 personas) en compañía de 1 y/o 2 personas, el 24,6% (16 personas) entre 2 y 4 personas, el 20,0% (13 personas) lo hacen solos, y el 4,6% (3 personas) visitan el parque con más de 4 personas. El hecho de que las personas visiten la zona de estudio con más de un acompañante permitiría que se diera un reconocimiento importante de la presencia de las baldosas piezoeléctricas por medio de la promoción y difusión del funcionamiento del sistema instalado.

*Figura 12. Pregunta N°4 Conocimiento de la energía piezoeléctrica*

*Fuente. Elaboración propia*

Para saber el conocimiento de la energía piezoeléctrica por parte de la población encuestada, se observó que el 67,7% (44 personas) habían escuchado alguna vez acerca de esta energía, mientras que el 32,3% (21 personas) no había escuchado al respecto.

*Figura 13. Pregunta N°5 Disposición a interactuar con las baldosas piezoeléctricas.*

*Fuente. Elaboración propia*

Para analizar la disposición de la población en participar caminando sobre el sistema piezoeléctrico, el 96,9% (63 personas) indicó que, si participaran en caso de que sean instaladas las baldosas piezoeléctricas, por otro lado, solo el 3,1% (2 personas) dio como respuesta el tal vez como participación y ninguno de los encuestados señaló el no participar en el sistema para la generación de energía.

*Figura 14. Pregunta N°6 Visitas al parque con la tecnología implementada*

*Fuente. Elaboración propia*

El 70,8% (46 personas) considera que aumentarán las visitas al parque, el 16,9% (11 personas) creen que no afectara y las visitas al parque permanecerán igual, y el 12,3 % (8 personas) señalan que disminuirá el interés por visitar el parque con esta nueva tecnología.

El desconocimiento general del tema por parte de los encuestados, como se evidencia en la figura X, representa una oportunidad para promover campañas de información acerca del parque piezoeléctrico, las cuales pueden incluir aspectos de mejora en relación con elementos de estética del parque, eficiencia energética y educación ambiental orientada a la mitigación del cambio climático, además, según lo expuesto en la figura X pregunta 5, se sabe que el 96,9% de la muestra estudiada participaría en la generación de energía piezoeléctrica. En este orden de ideas, esto permitiría aumentar el interés de personas externas al parque, favorecería el comercio y el turismo del sector y elevaría el interés cultural en general.

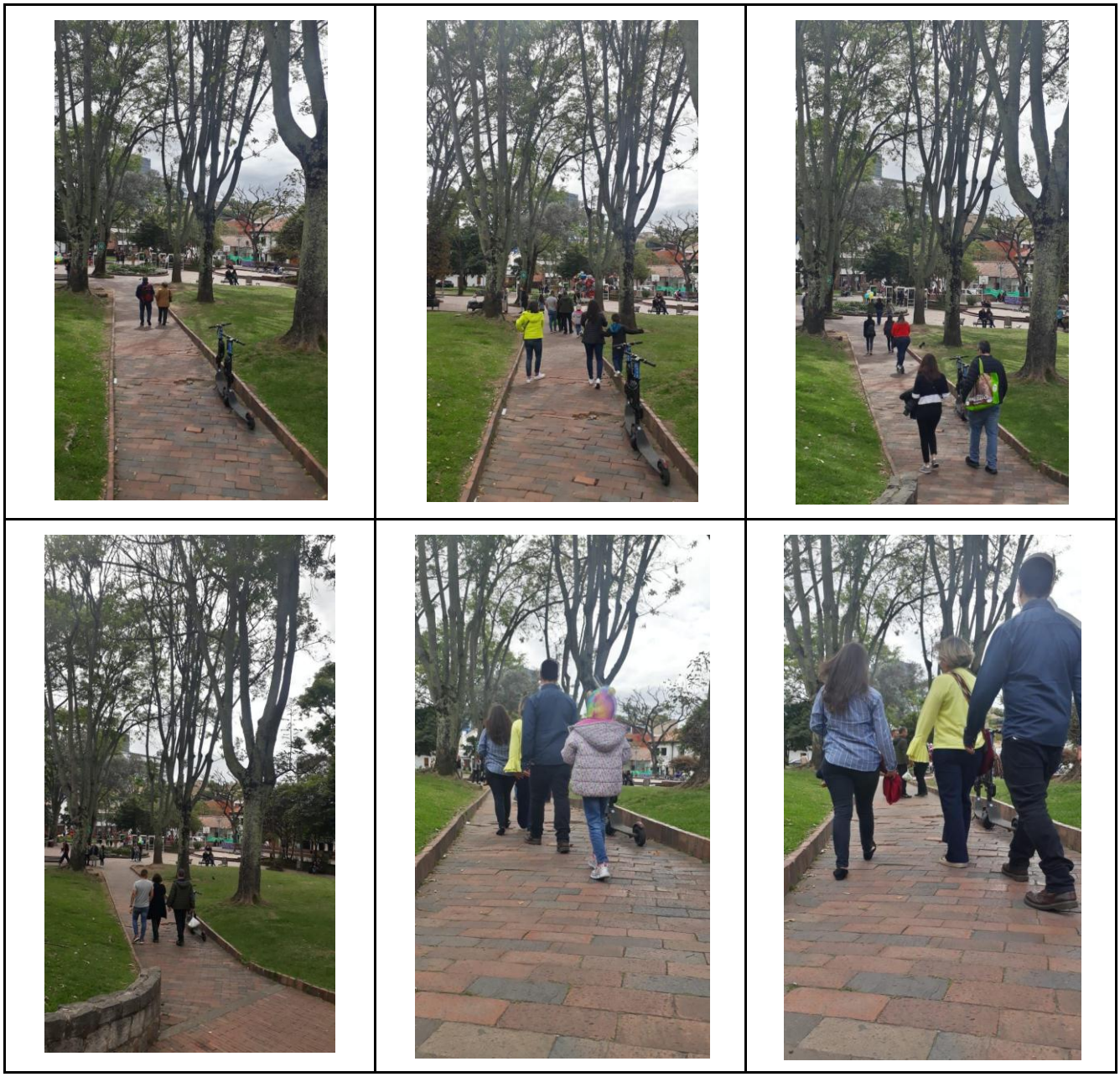
En la siguiente tabla se sintetizan los resultados con mayor frecuencia en la distribución de datos en donde se indica la opción que más se escogió por los encuestados:

Tabla 8. *Preguntas con su respectiva moda.*

| | **¿Con qué frecuencia visita el Parque de Usaquén?** | **¿En qué horario suele transitar por el parque?** | **¿Con cuántas personas visita o concurre el parque?** | **¿Había escuchado alguna vez acerca de la energía piezoeléctrica?** | **¿Estaría dispuesto a participar en caso de que sean instauradas baldosas piezoeléctricas en el parque?** | **Cree que el interés por visitar el parque al implementar esta tecnología:** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Moda** | Una vez al mes (32) | Tarde (27) | Entre 1 y 2 (33) | No (44) | Si (63) | Aumentaría (46) |

*Fuente: Elaboración propia.*

*Figura 15. Fotografías de transeúntes en la zona en donde se haría la instalación.*



*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

### *10.2 Objetivo #2: Desarrollar una evaluación de impacto ambiental que permita identificar los posibles efectos que se puedan generar en el área de influencia por la implementación del proyecto.*

#### *10.2.1 Matriz de Impacto Ambiental*

A partir del contexto en el que se desarrolló el proyecto, se elaboró la matriz de impacto ambiental Conesa para el escenario sin proyecto (ver Tabla 10.  y con proyecto (ver Tabla 11.) con el fin de generar una comparación entre los mismos; esta permitió identificar los impactos negativos y positivos generados por la implementación de las baldosas piezoeléctricas y por el panorama desde el punto de partida actual. Inicialmente se reconocieron las dimensiones en el que evolucionaría el proyecto, teniendo en cuenta la dimensión física, la dimensión biótica, la dimensión socioeconómica y la dimensión cultural; partiendo de esto se consideraron los componentes afectados por sus respectivos impactos. Según la tabla de cualificación del impacto, se calificaron atributos como naturaleza, momento, duración, periodicidad, acumulación, sinergia, efecto, reversibilidad, recuperabilidad y magnitud para cada impacto. Los resultados de estos atributos permitieron determinar, de una manera cualitativa, la valoración del impacto ambiental final para comparar ambos escenarios e implementar medidas de manejo ambiental para aquellos impactos negativos producidos. De igual manera, la comparación permitió determinar la tendencia de ambos escenarios a presentar impactos ambientales positivos, ya sean favorables o beneficiosos.

*Tabla 9. Valores para la cualificación de impactos ambientales.*

| **Impactos negativos (-)** | | **Impactos positivos (+)** | |
|---|---|---|---|
| Cualificación del impacto | Unidades de Impacto Ambiental (U.I.A.) | Cualificación del impacto | Unidades de Impacto Ambiental (U.I.A.) |
| -1 | **COMPATIBLE** | 1 | **FAVORABLE** |
| -2 | | 2 | |
| -3 | **MODERADO** | 3 | |
| -4 | | 4 | |
| -5 | | 5 | |
| -6 | **SEVERO** | 6 | **BENEFICIOSO** |
| -7 | | 7 | |
| -8 | | 8 | |
| -9 | **CRÍTICO** | 9 | |
| -10 | | 10 | |

*Fuente: Ariza, Mora y Espejo M., 2015. Tomado de: ftp://ftp.ani.gov.co/Ruta%20del%20Sol%20I/Tramo%20Villetas%20%20-%20Guaduas/ENTREGA%20FINAL/disco58/Capitulo%205.pdf*

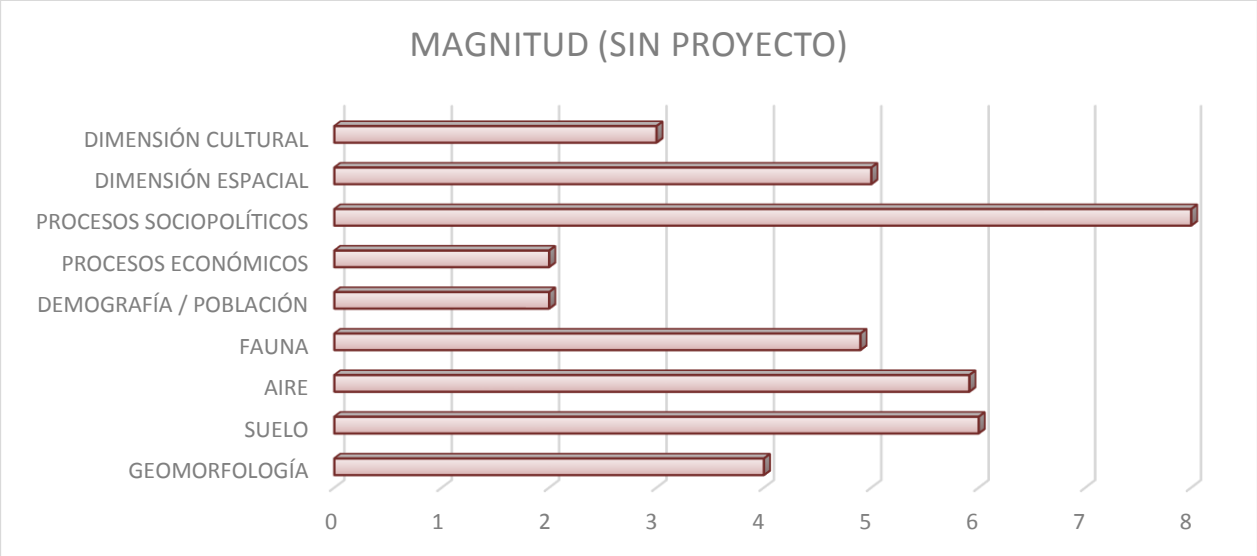
Tabla 10. *Matriz de impacto ambiental para el escenario **sin proyecto**.*

**Matriz de evaluación de impactos en el escenario (SIN proyecto)**

| Valoración del Impacto | | | | ESTADO INICIAL | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | IMPORTANCIA | | | | | | | | | | | MAGNITUD | | VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL | | |
| | | | | | ATRIBUTOS | | | | | | | | | IMPACTO | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | NEGATIVO | | POSITIVO | | | | CUALITATIVA |
| | | | | | N | M | D | P | A | SI | EF | RV | RC | INI | INF | IPI | IPF | EX | MAG | IAI | IAF | |
| | | | | CALIDAD AMBIENTAL DEL MEDIO | NATURALEZA | MOMENTO | DURACIÓN | PERIODICIDAD | ACUMULACIÓN | SINERGIA | EFECTO | REVERSIBILIDAD | RECUPERABILIBIDAD | IMPORTANCIA NEGATIVA DEL IMPACTO INICIAL | IMPORTANCIA NEGATIVA DEL IMPACTO FINAL | IMPORTANCIA POSITIVA DEL IMPACTO INICIAL | IMPORTANCIA POSITIVA DEL IMPACTO FINAL | Cantidad o extensión | Magnitud de los efectos | IMPACTO AMBIENTAL INICIAL | IMPACTO AMBIENTAL FINAL | |
| | | | | C | N | M | D | P | A | SI | EF | RV | RC | INI | INF | IPI | IPF | EX | MAG | IAI | IAF | |
| **Dimensión** | **Componente** | **Abreviatura** | **Impacto** | **1-5** | **+/-** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **20-100** | **1-10** | **13-65** | **1-10** | **1-5** | **2-10** | **+/-1 a +/- 10** | **+/-1 a +/- 10** | |
| **FÍSICA** | **GEOMORFOLOGÍA** | A | Modificación paisajística | 2 | -1 | 3 | 4 | 5 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | -49 | -7 | -42 | -9 | 2 | 4 | -5 | -5 | MODERADO |
| | **SUELO** | B | Cambio de uso del suelo | 3 | 1 | 5 | 4 | 5 | 1 | 2 | 2 | 5 | 5 | 75 | 7 | 40 | 6 | 3 | 6 | 7 | 6 | BENEFICIOSO |
| | **AIRE** | C | Deterioro de la calidad del aire | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 48 | 4 | 13 | 1 | 3 | 7 | 6 | 5 | BENEFICIOSO |
| | | D | Aumento en decibeles de ruido | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 48 | 4 | 13 | 1 | 2 | 5 | 5 | 4 | FAVORABLE |
| **BIÓTICA** | **FAUNA** | E | Cambio en la riqueza y abundancia (diversidad) en las comunidades de fauna silvestre | 3 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | -48 | -7 | -13 | -4 | 2 | 5 | -6 | -6 | MODERADO |
| | | F | Afectación de hábitats | 3 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | -48 | -7 | -13 | -4 | 2 | 5 | -6 | -6 | MODERADO |
| | | G | Afectación de especies focales (IUCN, CITES, migratorias, endémicas, restingidas a un hábitat) | 3 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | -48 | -7 | -13 | -4 | 2 | 5 | -6 | -6 | MODERADO |
| **SOCIOECONÓMICA Y CULTURAL** | **DEMOGRAFÍA / POBLACIÓN** | H | Cambio sobre el componente demográfico | | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 50 | 4 | 32 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | FAVORABLE |
| | **PROCESOS ECONÓMICOS** | I | Cambio en la dinámica de empleo | | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 50 | 4 | 32 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | FAVORABLE |
| | | J | Cambio en los ingresos de la población | | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 54 | 5 | 36 | 5 | 1 | 2 | 3 | 3 | FAVORABLE |
| | **PROCESOS SOCIOPOLÍTICOS** | K | Cambio en la capacidad de gestión y participación de la comunidad | | 1 | 5 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 78 | 8 | 53 | 8 | 4 | 8 | 8 | 8 | BENEFICIOSO |
| | **DIMENSIÓN ESPACIAL** | L | Cambio en la prestación de servicios públicos y/o sociales | | 1 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 4 | 61 | 6 | 30 | 4 | 3 | 6 | 6 | 6 | BENEFICIOSO |
| | | M | Cambio en el acceso y movilidad | | -1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 5 | 4 | 2 | -40 | -6 | -20 | -5 | 2 | 4 | -5 | -5 | MODERADO |
| | **DIMENSIÓN CULTURAL** | N | Adaptación cultural | | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 57 | 5 | 32 | 4 | 2 | 4 | 5 | 4 | FAVORABLE |
| | | O | Pérdida, daño y/o afectación al patrimonio cultural | | -1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | -39 | -6 | -21 | -5 | 1 | 2 | -4 | -3 | MODERADO |

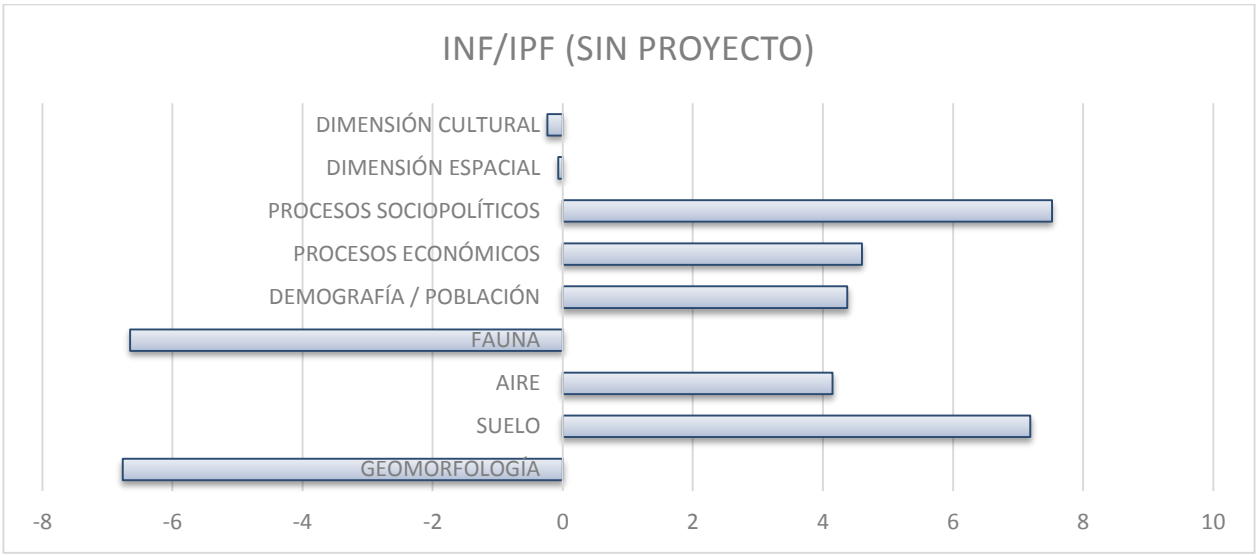
*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 16. Magnitud de impactos en el escenario sin proyecto*



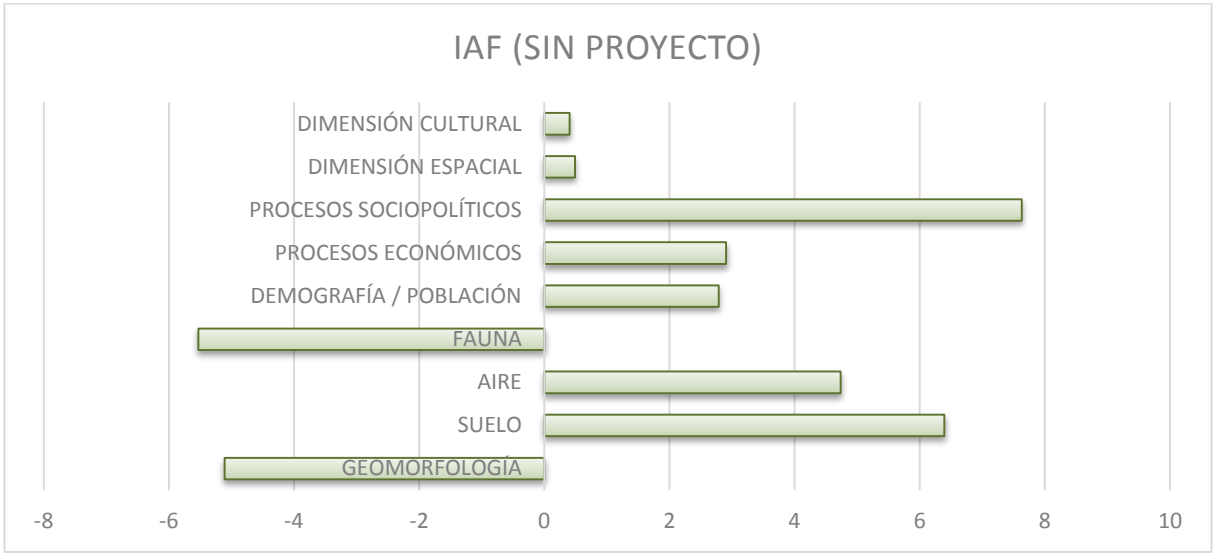

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 17. Importancia Negativa Final vs. Importancia Positiva Final en el escenario sin proyecto*



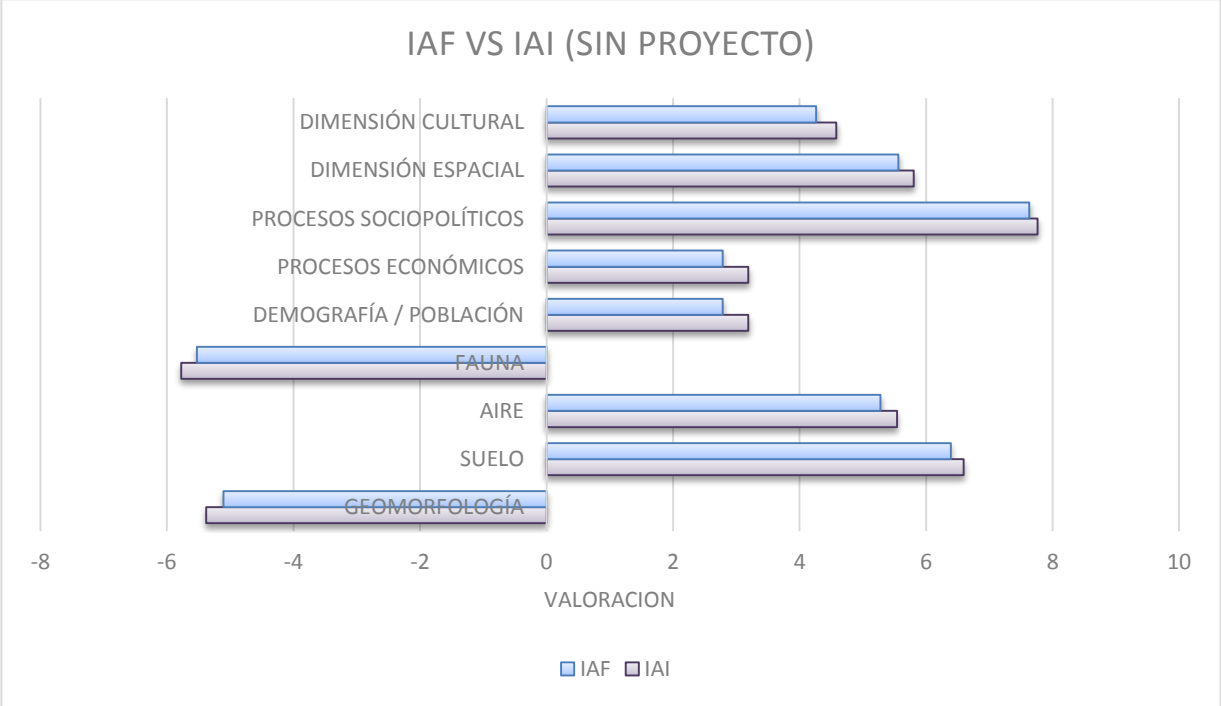

*Fuente: Elaboración propia, 2019*

*Figura 18. Impacto Ambiental Final en el escenario sin proyecto*



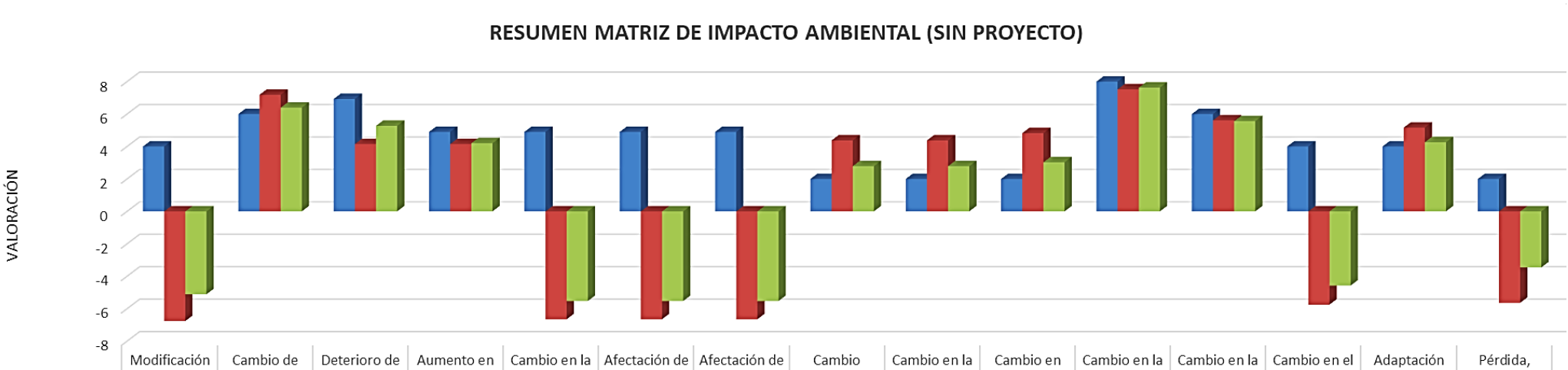

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 19. Impacto Ambiental Final en el escenario sin proyecto.*




*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 20. Resumen de matriz de impacto ambiental en el escenario sin proyecto.*




| | Modificación paisajística | Cambio de uso del suelo | Deterioro de la calidad del aire | Aumento en decibeles de ruido | Cambio en la riqueza y abundancia (diversidad) en las comunidades de fauna silvestre | Afectación de hábitats | Afectación de especies focales (IUCN, CITES, migratorias, endémicas, restingidas a un hábitat) | Cambio sobre el componente demográfico | Cambio en la dinámica de empleo | Cambio en los ingresos de la población | Cambio en la capacidad de gestión y participación de la comunidad | Cambio en la prestación de servicios públicos y/o sociales | Cambio en el acceso y movilidad | Adaptación cultural | Pérdida, daño y/o afectación al patrimonio cultural |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MAGNITUD | 4 | 6 | 7 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 2 | 2 | 8 | 6 | 4 | 4 | 2 |
| IMPORTANCIA | -7 | 7 | 4 | 4 | -7 | -7 | -7 | 4 | 4 | 5 | 8 | 6 | -6 | 5 | -6 |
| IAF | -5 | 6 | 5 | 4 | -6 | -6 | -6 | 3 | 3 | 3 | 8 | 6 | -5 | 4 | -3 |

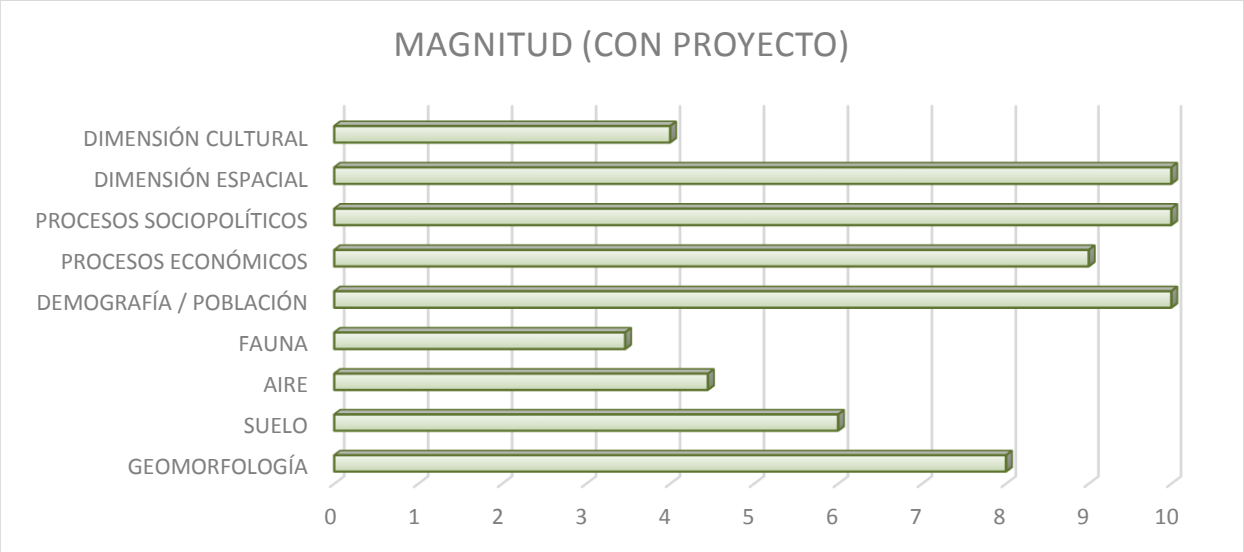
*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

Tabla 11. *Matriz de impacto ambiental para el escenario* ***con proyecto***.

| Matriz de evaluación de impactos en el escenario (CON proyecto) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Valoración del Impacto | | | | CALIDAD AMBIENTAL DEL MEDIO | ESTADO INICIAL | | | | | | | | | | | | | | | VALORACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL | | |
| | | | | | IMPORTANCIA | | | | | | | | | | | | MAGNITUD | | CUANTITATIVA | | CUALITATIVA |
| | | | | | ATRIBUTOS | | | | | | | | | IMPACTO | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | NEGATIVO | | POSITIVO | | | | | | |
| | | | | | N | M | D | P | A | SI | EF | RV | RC | INI | INF | IPI | IPF | EX | MAG | IAI | IAF | |
| | | | | CALIDAD AMBIENTAL DEL MEDIO | NATURALEZA | MOMENTO | DURACIÓN | PERIODICIDAD | ACUMULACIÓN | SINERGIA | EFECTO | REVERSIBILIDAD | RECUPERABILIBIDAD | IMPORTANCIA NEGATIVA DEL IMPACTO INICIAL | IMPORTANCIA NEGATIVA DEL IMPACTO FINAL | IMPORTANCIA POSITIVA DEL IMPACTO INICIAL | IMPORTANCIA POSITIVA DEL IMPACTO FINAL | CANTIDAD O EXTENSIÓN | MAGNITUD | IMPACTO AMBIENTAL INICIAL | IMPACTO AMBIENTAL FINAL | |
| | | | | C | N | M | D | P | A | SI | EF | RV | RC | INI | INF | IPI | IPF | EX | MAG | IAI | IAF | |
| **Dimensión** | **Componente** | **Abreviatura** | **Impacto** | **1-5** | **+/-** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **1-5** | **20-100** | **1-10** | **13-65** | **1-10** | **1-5** | **2-10** | **+/-1 a +/- 10** | **+/-1 a +/- 10** | |
| **FÍSICA** | **GEOMORFOLOGÍA** | A | Modificación paisajística | 4 | 1 | 5 | 4 | 5 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 75 | 7 | 40 | 6 | 4 | 8 | 8 | 7 | BENEFICIOSO |
| | **SUELO** | B | Cambio de uso del suelo | 3 | 1 | 5 | 4 | 5 | 2 | 2 | 2 | 5 | 5 | 77 | 7 | 42 | 6 | 3 | 6 | 7 | 7 | BENEFICIOSO |
| | **AIRE** | C | Deterioro de la calidad del aire | 2 | -1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | -28 | -4 | -21 | -5 | 2 | 4 | -4 | -4 | MODERADO |
| | | D | Aumento en decibeles de ruido | 3 | -1 | 5 | 1 | 2 | 3 | 3 | 5 | 1 | 1 | -39 | -6 | -32 | -7 | 2 | 5 | -5 | -5 | MODERADO |
| **BIÓTICA** | **FAUNA** | E | Cambio en la riqueza y abundancia (diversidad) en las comunidades de fauna silvestre | 3 | -1 | 4 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | -36 | -5 | -29 | -6 | 1 | 3 | -4 | -4 | MODERADO |
| | | F | Afectación de hábitats | 3 | -1 | 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | -35 | -5 | -28 | -6 | 1 | 3 | -4 | -4 | MODERADO |
| | | G | Afectación de especies focales (IUCN, CITES, migratorias, endémicas, restingidas a un hábitat) | 3 | -1 | 4 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | -36 | -5 | -29 | -6 | 1 | 3 | -4 | -4 | MODERADO |
| **SOCIOECONÓMICA Y CULTURAL** | **DEMOGRAFÍA / POBLACIÓN** | H | Cambio sobre el componente demográfico | | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 77 | 7 | 53 | 8 | 5 | 10 | 9 | 9 | BENEFICIOSO |
| | **PROCESOS ECONÓMICOS** | I | Cambio en la dinámica de empleo | | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 77 | 7 | 53 | 8 | 5 | 10 | 9 | 9 | BENEFICIOSO |
| | | J | Cambio en los ingresos de la población | | 1 | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 | 75 | 7 | 54 | 8 | 4 | 8 | 8 | 7 | BENEFICIOSO |
| | **PROCESOS SOCIOPOLÍTICOS** | K | Cambio en la capacidad de gestión y participación de la comunidad | | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 93 | 9 | 65 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | BENEFICIOSO |
| | **DIMENSIÓN ESPACIAL** | L | Cambio en la prestación de servicios públicos y/o sociales | | 1 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 93 | 9 | 64 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | BENEFICIOSO |
| | | M | Cambio en el acceso y movilidad | | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 94 | 9 | 65 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 | BENEFICIOSO |
| | **DIMENSIÓN CULTURAL** | N | Adaptación cultural | | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 71 | 7 | 47 | 7 | 3 | 6 | 6 | 6 | BENEFICIOSO |
| | | O | Pérdida, daño y/o afectación al patrimonio cultural | | -1 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | -44 | -6 | -27 | -6 | 1 | 2 | -4 | -4 | MODERADO |

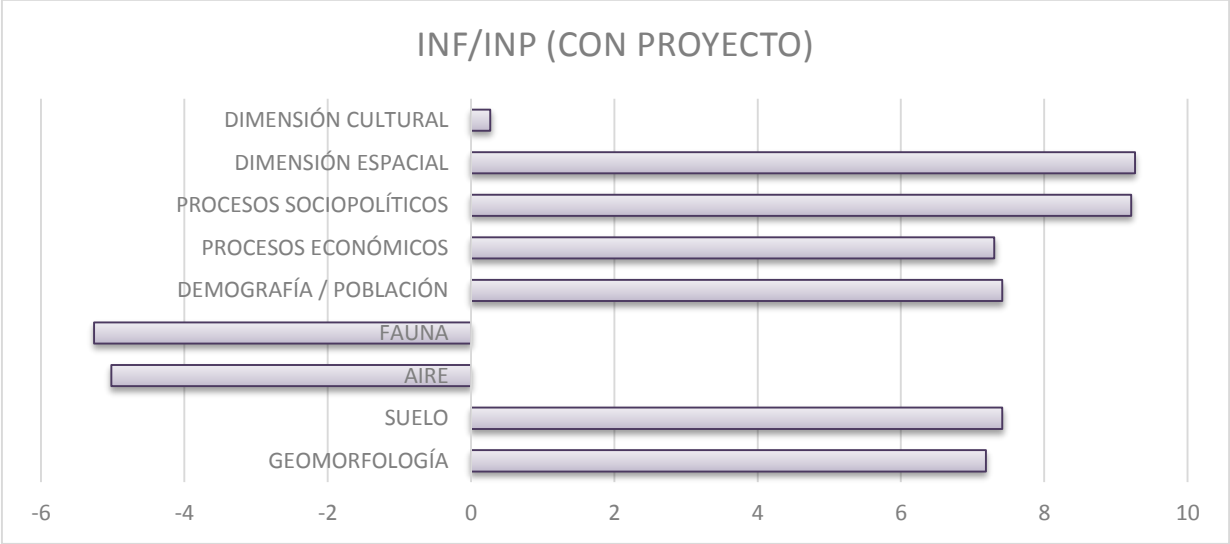
*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 21. Magnitud de impactos en el escenario con proyecto.*



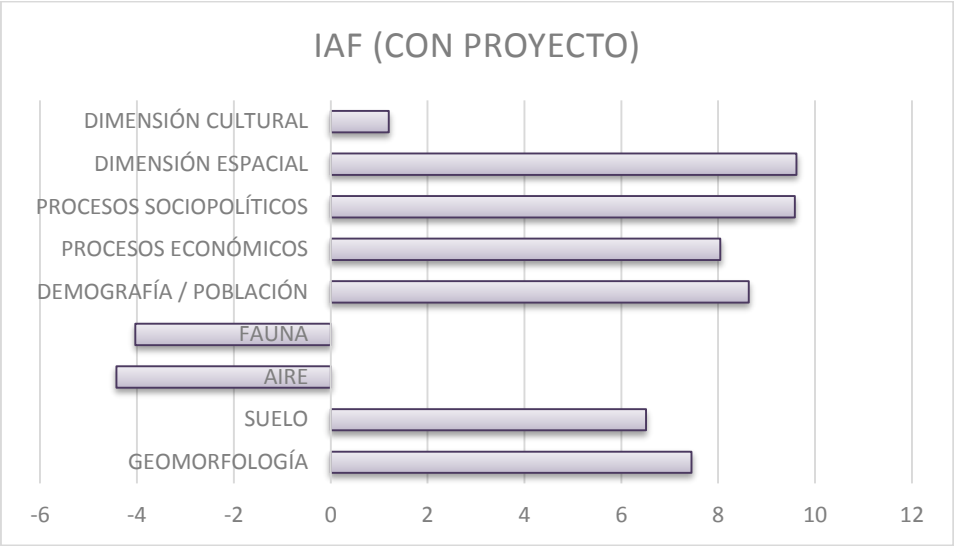

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 22. Importancia Negativa Final vs. Importancia Positiva Final en el escenario con proyecto*



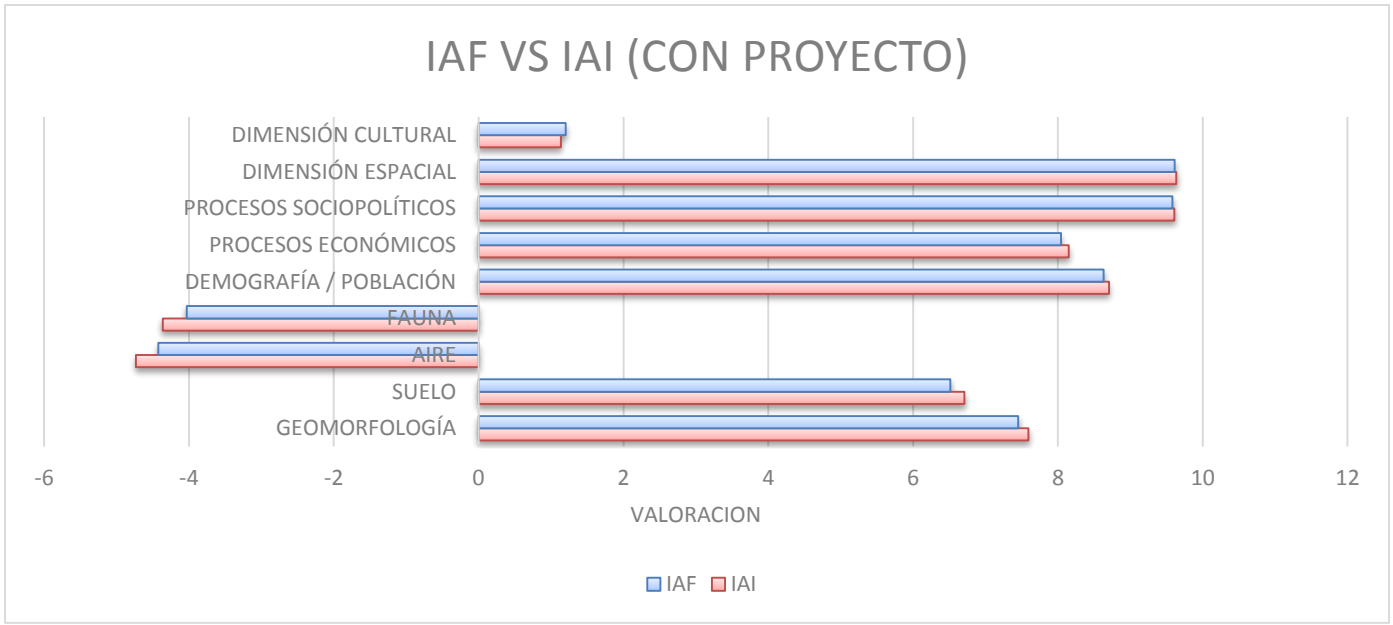

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 23. Impacto Ambiental Final en el escenario con proyecto.*



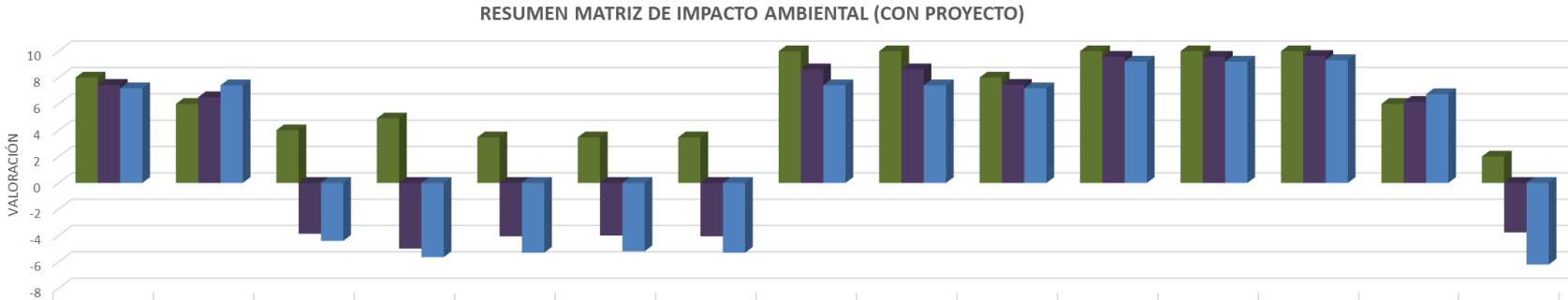

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 24. Impacto Ambiental Final en el escenario con proyecto.*




*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

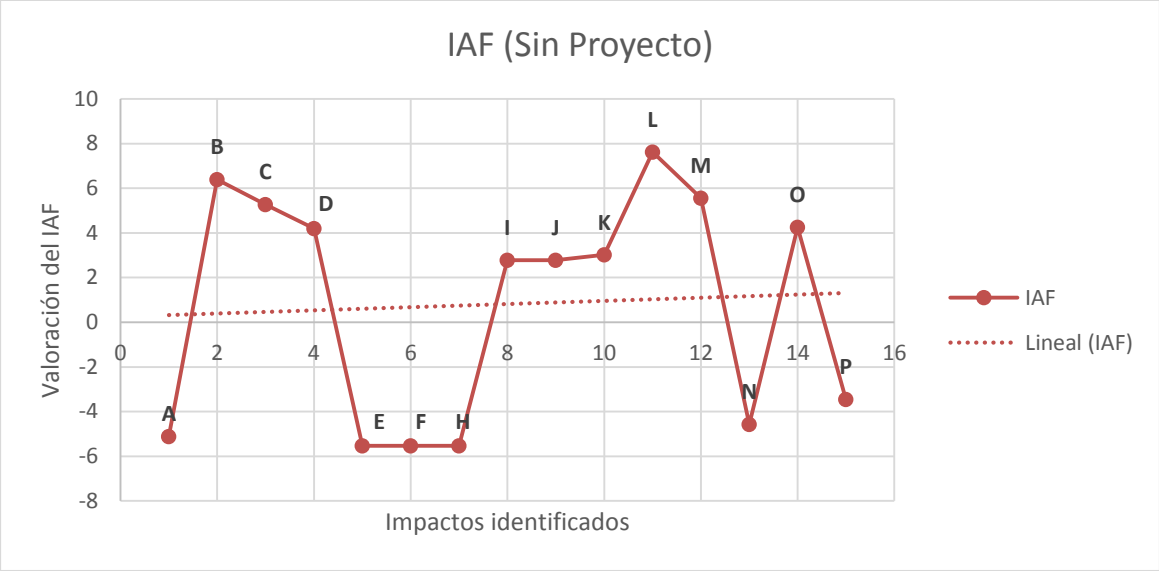
*Figura 25. Resumen de matriz de impacto ambiental en el escenario con proyecto*




| | Modificación paisajística | Cambio de uso del suelo | Deterioro de la calidad del aire | Aumento en decibeles de ruido | Cambio en la riqueza y abundancia (diversidad) en las comunidades de fauna silvestre | Afectación de hábitats | Afectación de especies focales (IUCN, CITES, migratorias, endémicas, restingidas a un hábitat) | Cambio sobre el componente demográfico | Cambio en la dinámica de empleo | Cambio en los ingresos de la población | Cambio en la capacidad de gestión y participación de la comunidad | Cambio en la prestación de servicios públicos y/o sociales | Cambio en el acceso y movilidad | Adaptación cultural | Pérdida, daño y/o afectación al patrimonio cultural |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MAGNITUD | 8 | 6 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 10 | 10 | 8 | 10 | 10 | 10 | 6 | 2 |
| IAF | 7 | 7 | -4 | -5 | -4 | -4 | -4 | 9 | 9 | 7 | 10 | 10 | 10 | 6 | -4 |
| INF | 7 | 7 | -4 | -6 | -5 | -5 | -5 | 7 | 7 | 7 | 9 | 9 | 9 | 7 | -6 |

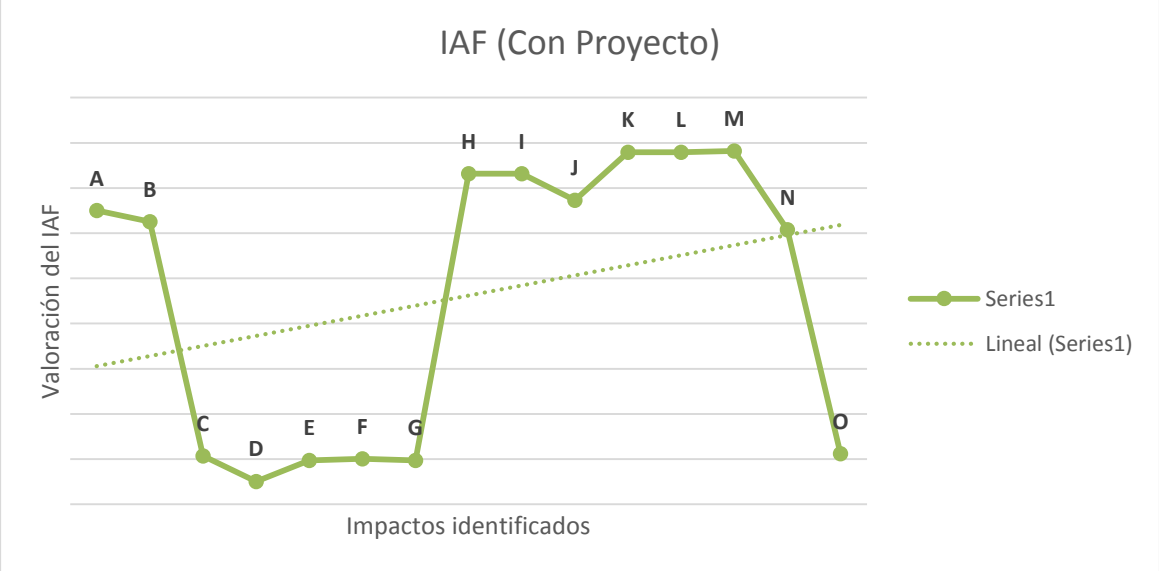
*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 26. Impacto Ambiental Final sin proyecto.*



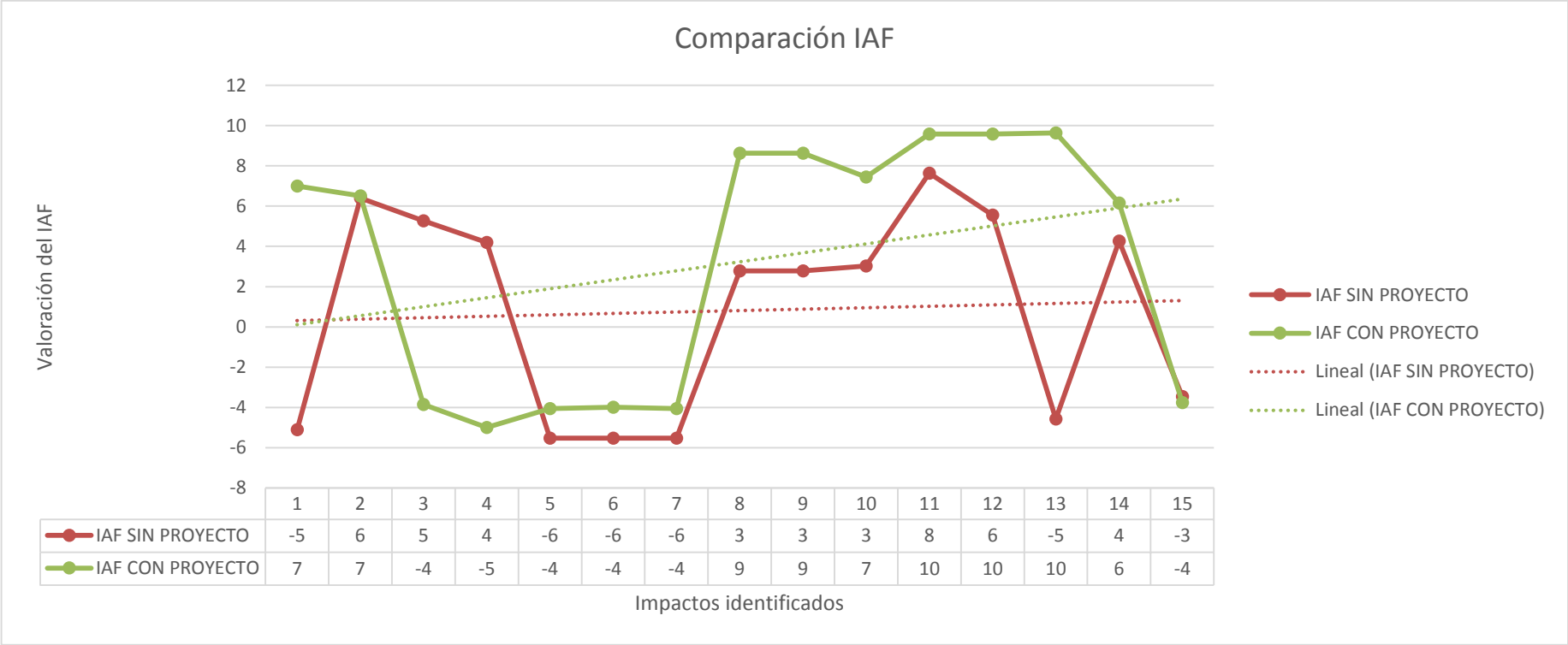

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 27. Impacto Ambiental con proyecto.*




*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

*Figura 28. Impacto ambiental con proyecto.*




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IAF SIN PROYECTO | -5 | 6 | 5 | 4 | -6 | -6 | -6 | 3 | 3 | 3 | 8 | 6 | -5 | 4 | -3 |
| IAF CON PROYECTO | 7 | 7 | -4 | -5 | -4 | -4 | -4 | 9 | 9 | 7 | 10 | 10 | 10 | 6 | -4 |

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

Ya determinados los impactos, se realizó la comparativa entre ambos escenarios para determinar su tendencia a presentar impactos positivos; estos resultados se pueden apreciar en la figura X. De acuerdo con esto es correcto decir que el escenario sin proyecto muestra una tendencia a presentar impactos positivos, es decir, sin la intervención de alguna actividad ajena al parque, este ya cuenta con características favorables para el sector, como lo son la calidad del aire y el control de decibeles de ruido, cambios en componentes demográficos, económicos, sociopolíticos y características de prestación de servicios públicos y adaptación cultural. No obstante, en el escenario con proyecto se puede observar una línea de tendencia mucho mayor al caso anterior, indicando que su implementación no solo generaría impactos favorables, sino que sus efectos serían beneficiosos para el sector, siendo cuantificables y fáciles de percibir en un período de 1 a 5 años. (Ariza, A., Mora, C. y Espejo M., J, 2015)

### 10.1.2 Plan de manejo ambiental

Una vez identificados los impactos ambientales se procedió a realizar los planes de manejo ambiental respectivos con el fin de proponer acciones a desarrollar que permitieran la prevención, la mitigación y la compensación de los efectos causados.

*Tabla 12. Programa de manejo para la contaminación del aire.*

<table>
<tr><th colspan="3">Programa de manejo para la contaminación del aire</th><th>FICHA N° 1</th></tr>
<tr><td colspan="4">Objetivo General: Garantizar que la contaminación por ruido y material particulado (PM) en la etapa de construcción del parque piezoeléctrico de Usaquén generen la menor afectación posible al componente aire.</td></tr>
<tr><th colspan="4">ETAPAS DEL PROYECTO</th></tr>
<tr><td colspan="2">PLANEACIÓN</td><td>CONSTRUCCIÓN</td><td>X</td></tr>
<tr><th>Impacto a manejar</th><th>Tipo de manejo</th><th>Actividades que los producen</th><th>Componente afectado</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1. Contaminación del aire por Material Particulado</td><td rowspan="6">Prevención</td><td>Desmonte (limpieza del terreno)</td><td rowspan="6">Aire</td></tr>
<tr><td>Transporte de materiales.</td></tr>
<tr><td>Arrastre de materiales.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2. Contaminación acústica por aumento en decibeles de ruido</td><td>Desprendimiento de material pulverulento de los neumáticos de los vehículos transportadores de material.</td></tr>
<tr><td>Demolición del suelo.</td></tr>
<tr><td>Vibraciones por empleo de maquinarias (taladros, martillos rompedores, compresores)</td></tr>
<tr><th colspan="4">Acciones a desarrollar</th></tr>
<tr><td colspan="4">1.a. Se deberá cubrir el material de construcción acumulado o remanente por demolición del suelo haciendo uso de elementos que permitan protegerlo de corrientes de aire que generen un traslado de partículas a lugares colindantes.</td></tr>
<tr><td colspan="4">1.b. Los vehículos transportadores deben estar cubiertos con material resistente (lonas) de acuerdo con lo estipulado en la Resolución 541 de 1994, con el fin de evitar la liberación de emisiones de PM. Además, según la Ley 769 de 2002, deben contar con el certificado de emisiones vigente y las revisiones mecánicas correspondientes a la ficha técnica del equipo.</td></tr>
<tr><td colspan="4">1.c. Las llantas de los vehículos y equipos provenientes de la zona del proyecto deben permanecer limpias asegurando también limpieza en las vías.</td></tr>
</table>

| |
|---|
| 1.d. Durante el proceso de transporte se debe asegurar que no ocurran derrames o pérdidas del material de la obra. En consecuencia, el contenedor o platón de los vehículos empleados debe estar conformado por una estructura continua, que evite presentar orificios, ranuras o espacios. |
| 2.a. La operación de las maquinarias que generen ruido continuo se ejecutará con una hora de descanso por cada 2 horas de trabajo continuo. |
| 2.b. De acuerdo con la Resolución 627 de 2006, la ejecución de actividades debe realizarse en los horarios diurnos definidos (7 a.m. a 9.p.m.), teniendo en cuenta que el nivel máximo permisible de ruido en parques de zonas urbanas es de 65 dBA. |

| **Indicador de seguimiento** | **Periodo de ejecución** |
|---|---|
| Índice de calidad del aire (ICA) o Índice de Calidad Ambiental. | El programa debe aplicarse en el tiempo que lleve ejecutar toda la etapa de construcción. |
| **Área de ejecución** | **Personal necesario y responsables** |
| Parque de Usaquén, Bogotá D.C | En cuanto al equipo de trabajo necesario, son requeridos el personal de obra, técnicos en materia ambiental relacionados con toma y seguimiento de datos de la calidad del aire, ingeniero civil e ingeniero ambiental. |

*Fuente. Elaboración propia, 2019.*

Tabla 13. *Programa de manejo para la fragmentación del hábitat (aves)*

<table>
<tr><th colspan="3">Programa de manejo para la fragmentación del hábitat (aves)</th><th>FICHA N° 2</th></tr>
<tr><td colspan="4">Objetivo General: Plantear las medidas pertinentes para garantizar la preservación de la vida silvestre y prevenir alteraciones a las características naturales de su hábitat.</td></tr>
<tr><th colspan="4">ETAPAS DEL PROYECTO</th></tr>
<tr><td colspan="2">PLANEACIÓN</td><td></td><td>CONSTRUCCIÓN X</td></tr>
<tr><th>Impacto a manejar</th><th>Tipo de manejo</th><th>Actividades que los producen</th><th>Componente afectado</th></tr>
<tr><td>Fragmentación del hábitat</td><td rowspan="3">Prevención</td><td>Instalación y cerramiento para la etapa inicial de construcción.</td><td rowspan="3">Fauna</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Cambio en la diversidad de las comunidades de especies focales y migratorias</td><td>Demolición del suelo.</td></tr>
<tr><td>Vibraciones por empleo de maquinarias (taladros, martillos rompedores, compresores)</td></tr>
<tr><th colspan="4">Acciones a desarrollar</th></tr>
<tr><td colspan="4">- Realizar inventarios de poblaciones de flora y fauna nativa e identificar si dichas especies se encuentran en estado de peligro.</td></tr>
<tr><td colspan="4">- Crear barreras o pantallas acústicas de madera para evitar o disminuir el ruido a fin de impedir la afectación a comunidades de aves que realicen sus viajes o aniden por la zona.</td></tr>
<tr><td colspan="4">- De acuerdo con la Resolución 627 de 2006, la ejecución de actividades debe cumplir con los horarios diurnos definidos (7 a.m. a 9.p.m.), teniendo en cuenta que el nivel máximo permisible de ruido en parques de zonas urbanas es de 65 dBA.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Indicador de seguimiento</th><th colspan="2">Periodo de ejecución</th></tr>
<tr><td colspan="2">Índice de fragmentación del hábitat</td><td colspan="2">El programa debe aplicarse en el tiempo que lleve ejecutar toda la etapa de construcción.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Área de ejecución</th><th colspan="2">Personal necesario y responsables</th></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| Parque de Usaquén, Bogotá D.C | En cuanto al equipo de trabajo necesario, son requeridos el personal de obra, técnicos en materia ambiental relacionados con toma y seguimiento de datos del aire, ingeniero civil e ingeniero ambiental. En cuanto a los responsables, es requerida la entidad o empresa que se encuentre a cargo del proyecto, el consejo territorial de planeación, entidades ambientales del municipio (CAR) y la secretaria de planeación del territorio. |

*Fuente. Elaboración propia, 2019.*

*Tabla 14. Programa de manejo para afectación de la dimensión cultural.*

| **Programa de manejo para afectación de la dimensión cultural** | | | **FICHA N° 3** |
|---|---|---|---|
| ***Objetivo General:*** Formular acciones oportunas para disminuir y remediar las alteraciones al patrimonio cultural. | | | |
| **ETAPAS DEL PROYECTO** | | | |
| PLANEACIÓN | X | CONSTRUCCIÓN | X |
| **Impacto a manejar** | **Tipo de manejo** | **Actividades que los producen** | **Componente afectado** |
| Pérdida, daño y/o afectación al patrimonio cultural. | Mitigación y compensación. | Demolición del suelo. | Dimensión cultural |
| | | Modificación en la arquitectura colonial (adoquinado). | |
| **Acciones a desarrollar** | | | |
| Realizar campañas de información sobre el parque piezoeléctrico como un nuevo aporte a la cultura desde la educación ambiental y la mitigación del cambio climático. | | | |
| Compartir con la comunidad los beneficios energéticos y estéticos que ofrecerá la instalación de las baldosas en el parque. | | | |
| Crear un monitoreo permanente del sector en cuanto a la receptividad cultural. | | | |
| Indicar la importancia por la preservación y el mantenimiento de los sectores antiguos. | | | |
| **Indicador de seguimiento** | | **Periodo de ejecución** | |
| Indicador de beneficio, calidad y satisfacción. | | El programa debe aplicarse en el tiempo posterior a la etapa de construcción. | |
| Encuesta de supervisión de la receptividad cultural. | | | |

| Área de ejecución | Personal necesario y responsables |
|---|---|
| Parque de Usaquén, Bogotá D.C | En cuanto al equipo de trabajo necesario, son requeridos los ingenieros residentes del proyecto. |

*Fuente. Elaboración propia, 2019.*

### *10.3 Objetivo #3: Formular lineamientos para el estudio de factibilidad en la implementación del parque piezoeléctrico de Usaquén como proyecto piloto para la ciudad de Bogotá.*

A continuación, se presentan los resultados del objetivo 3 que serían la base para formular los lineamientos para el estudio de factibilidad. Estos resultados contienen dos componentes: 1. Huella de carbono por implementación del proyecto en relación con los gastos energéticos de energías convencionales, caso termoeléctricas. 2. Lineamientos para una posterior etapa de factibilidad.

Actualmente Colombia cuenta con la ley 1715 de 2014 para promover el desarrollo y la integración de fuentes de energía no convencionales al sistema energético nacional. (Ley 1715 de 2014, 2014) La presente ley establece el marco legal y los instrumentos para impulsar el aprovechamiento de las fuentes de energía no convencionales, especialmente las fuentes de energía de tipo renovables, fomentando la inversión, investigación y desarrollo de estas tecnologías limpias para producción de energía, además, tiene como fin establecer líneas de acción para el cumplimiento de compromisos asumidos por Colombia en materia ele energías renovables, gestión eficiente de la energía y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

La ley dicta que los interesados en realizar inversiones en proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía y Gestión Eficiente de la Energía, podrán acceder a los incentivos tributarios enunciados por la Ley en los artículos 11, 12, 13 y 14, una vez se cumplan los requisitos y procedimientos establecidos por las entidades pertinentes, dichos incentivos se reflejan en rebaja en el impuesto de renta, depreciación acelerada, exclusión de bienes y servicios del IVA y exención del pago de los Derechos Arancelarios. El Ministerio de Minas y Energía, a través de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) y la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) por medio del Programa de Energía Limpia para Colombia (CCEP), unen esfuerzos para convocar e invitar a empresarios, inversionistas y ciudadanos en general, para que les apuesten a las energías limpias. (Ministerio de Minas y Energía, 2014)

De acuerdo con lo anterior, el presente proyecto con baldosas piezoeléctricas se encontraría dentro del grupo

de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) que se articulan en esta ley, este tipo de fuente se refiere a aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Por otro lado, es importante recalcar que este proyecto se encuentra alineado con los retos que expone el POT de Bogotá actualmente vigente. Según el POT, uno de los retos es disminuir la huella ecológica de carbono, teniendo en cuenta los objetivos de desarrollo sostenible 1, 11, 13, y 15, buscando que para el 2031 Bogotá tenga una ocupación responsable de su territorio en armonía con su entorno natural, haciendo su huella ecológica más eficiente y aumentando su resiliencia mediante la adopción de acciones para la gestión del riesgo y el cambio climático, implementando esto dentro de su visión de sostenibilidad ambiental (ecoeficiencia), que hace referencia a un territorio compacto adaptativo de bajo consumo para mejorar la calidad de vida.

### 10.3.1 Reducción huella de carbono

Recientemente se ha observado la preocupación por lograr una reducción significativa de la huella de carbono, la cual indica la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera por el desarrollo de todo tipo de actividades antrópicas, reconociendo problemáticas puntuales con el propósito de disminuir el consumo energético. (Jiménez Herrero and Montalvo Santamaría, s.f.)

Para suplir esta demanda son necesarias tecnologías especiales encontradas en las centrales termoeléctricas, las cuales utilizan grandes calderas que se calientan al quemar combustibles como el carbón; estas contienen agua que al llegar a su punto de ebullición generan el movimiento de turbinas especiales produciendo energía eléctrica. (Soto Soto & Werner Rodríguez, 2009)

En lo relativo a la producción de energía eléctrica por la quema de carbón en una central termoeléctrica (CT), Galetovic & Muñoz (2011) indican la cantidad de kg de $CO_2$ que se emiten por la quema de 1 kg de carbón como se muestra en la siguiente ecuación:

$$1kg\ de\ CQ_{\ CT} \rightarrow \quad 2,157\ kg\ de\ CO_{2\ emitido} \quad (6)$$

Por otro lado, señalan que una central termoeléctrica cuenta con un rendimiento medio de 1 kWh generado por la quema de 0,376 kg de carbón, es decir que por la quema de 1 kg de carbón se producen 2,66 kWh que equivalen a 23301,6 kW generados al año:

$$0,376\ kg\ de\ CQ_{\ CT} \rightarrow \quad 1\ kWh_{\ generado} \quad (7)$$

$$1kg\ de\ CQ_{\ CT} \rightarrow 2,66\ kWh_{\ generados} \quad (7.1)$$

$$2,66\ kWh \times \left(\frac{24\ horas}{1\ día}\right) \times \left(\frac{365\ días}{1\ año}\right) = 23301,6\ kW/año_{\ generados} \quad (7.2)$$

Según los resultados anteriores, es correcto decir que por los 2,66 kWh que se producen en la central termoeléctrica son emitidos 2,157 kg de $CO_2$ al ambiente, que al año equivalen a 18895,32 kg de $CO_2$:

$$2,66\ kWh_{\ CT} \rightarrow 2,157\ kg\ de\ CO_{2\ emitido}\ (8)$$

$$2,157\ kg\ \text{de}\ CO2/h_{\ emitidos} \times \left(\frac{24\ horas}{1\ día}\right) \times \left(\frac{365\ días}{1\ año}\right) = 18895,32\ kg\ \text{de}\ CO_2/\text{año}_{\ emitidos}\ (8.1)$$

Teniendo en cuenta la cantidad de $CO_2$ que puede capturar una hectárea de bosque (1800 kg de $CO_2$ por hectárea de bosque según Yáñez, 2004), se conoció la cantidad de hectáreas de bosque necesarias para capturar el $CO_2$ emitido por la quema de carbón en una central termoeléctrica:

$$1\ ha_{bosque} \leftarrow 1800\ kg\ de\ CO_2/\text{año}_{\ emitidos}\quad (8.2)$$

$$10,5\ ha_{bosque} \leftarrow 18895,32\ kg\ de\ CO_2/\text{año}_{\ emitidos}\quad (8.2)$$

$$10,5\ ha_{bosque} = 17010\ árboles\ (8.3)$$

Con el propósito de generar una comparación entre la energía convencional y la energía alternativa, se tomó la cantidad de energía generada por el sistema piezoeléctrico (SP) durante un año, y a su vez la cantidad de hectáreas de bosque que se ahorrarían sembrar para suplir la emisión de $CO_2$ por una central termoeléctrica:

$$39,61\ kWh_{SP} \rightarrow 32,12\ kg\ de\ CO_2/h_{\ ahorrados}\ (9)$$

$$32,12\ kg\ \text{de}\ CO_2/h_{\ ahorrados} \times \underset{1\ día}{(4\ \text{horas})} \times \underset{1\ año}{(365\ \text{días})} = 46895,2\ kg\ \text{de}\ CO_2/\text{año}_{\ ahorrados}\ (9.1)$$

$$1\ ha_{bosque} \leftarrow 1800\ kg\ de\ CO_2/\text{año}_{\ emitidos}\ (9.2)$$

$$26\ ha_{bosque} \leftarrow 46800\ kg\ de\ CO_2/\text{año}_{\ ahorrados}\ (9.2)$$

$$26\ ha_{bosque} = 42120\ árboles\ (9.3)$$

$$17010\ árboles_{\ necesarios\ por\ CT} = 100\%$$

$$42120\ árboles_{\ ahorrados\ por\ SP} = 247\%$$

$$42120\ árboles - 17010\ árboles$$

$$42120\ árboles \div 17010\ árboles$$

$$= 25110\ árboles$$

$$= 2,48\ veces\ (10)$$

Con estos datos se observa que la cantidad de energía producida por el sistema piezoeléctrico no solo basta para satisfacer la necesidad de plantar los 17010 árboles para capturar el $CO_2$ emitido por el funcionamiento de una central termoeléctrica, sino que doblaría este valor, es decir, el funcionamiento de las baldosas permitiría suplir la siembra de los árboles necesarios para capturar el $CO_2$ de dos centrales termoeléctricas.

### 10.3.2 Lineamientos para factibilidad

Con el propósito de establecer los lineamientos a considerar para una posterior etapa de factibilidad, se tuvo en cuenta la información obtenida previamente respecto a la receptividad cultural, los impactos negativos con sus respectivos planes de manejo ambiental, la tendencia de cada momento del proyecto a presentar impactos positivos, la situación actual de las luminarias del parque, las características de los datos técnicos del sistema piezoeléctrico y la forma en que el proyecto se alinea con la visión del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá para el año 2031. Por consiguiente, se identificaron los parámetros necesarios para realizar los estudios que componen la factibilidad del proyecto como etapa posterior.

Debido a que actualmente no se cuenta con un sistema piezoeléctrico instalado en Colombia, se sugiere considerar los casos de estudio puestos en funcionamiento alrededor del mundo para proceder con el ***estudio de mercado***.

Las baldosas piezoeléctricas Pavegen © se han venido implementando en distintos lugares del mundo. Como ejemplo se puede mencionar el sistema instalado en el Green Heart en la Universidad de Birmingham, Reino Unido, en donde los 13 metros cuadrados instalados de baldosas piezoeléctricas aprovechan el paso de 4.000 estudiantes generando energía suficiente para abastecer los bancos de trabajo cercanos a la zona. Asimismo, en el 2016 Pavegen realizó su primera instalación al aire libre en Dupont Circle, en la avenida Connecticut en Washington DC, una de las ciudades más transitadas de Estados Unidos, donde cerca de 10.000 peatones pisan al día más de 22.30 metros cuadrados de baldosas. Finalmente, Pavegen ha construido un sendero de 16 metros cuadrados para la generación de energía en el Aeropuerto Abu Dhabi, en la capital de Emiratos Árabes Unidos. Este conecta dos terminales en el aeropuerto, manejando aproximadamente 2 millones de pasajeros mensualmente, siendo la primera instalación en un aeropuerto en el Medio Oriente (Pavegen, 2019).

Respecto al ***estudio técnico*** se determinaron datos claves acerca de la situación de las luminarias en el parque de Usaquén y las características técnicas del sistema piezoeléctrico describiendo la cantidad de energía que este genera.

Tabla 15. *Datos técnicos del alumbrado público y del sistema de baldosas piezoeléctricas.*

| **Aspecto** | | **Valor** | **Unidad** |
|---|---|---|---|
| Luminarias internas (Hamlet) | Cantidad | 12 | # de luminarias |
| | Potencia | 0,063 | kW |
| | Cantidad | 54 | # de luminarias |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Luminarias alrededor (de sodio) | Potencia | 0,4 | kW |
| Postes comunes (LED) | Cantidad | 4 | # de luminarias |
| | Potencia | 0,6 | kW |
| Cantidad de luminarias y energía total consumida por el alumbrado público del parque | Cantidad | 70 | # de luminarias |
| | Potencia | 24,8 | kW/h |
| Energía total consumida por el alumbrado público del parque (12h) | Potencia | 297,1 | kW/h |
| Consumo de energía nocturno diario (12h) | Potencia | 297,1 | kW/h |
| Consumo de energía nocturno diario (4h) | Potencia | 99,0 | |
| Promedio de transeúntes por hora (horario nocturno: 6 a 10 p.m.) | | 172 | # de personas/hora |
| Energía generada por baldosa PAVEGEN® | | 5 | W (vatios)/pisada |
| Medidas baldosa PAVEGEN® triangular (por lado) | | 0,5 | metros |
| Dimensiones del sistema piezoeléctrico | Ancho | 2 | metros |
| | Ancho | 4 | # de baldosas |
| | Largo | 23 | metros |
| | Largo | 46 | # de baldosas |
| Total de baldosas de sistema piezoeléctrico | | 46 | metros cuadrados |
| | | 184 | # de baldosas |
| Generación total de energía por el sistema piezoeléctrico | | 39606 | W (vatios)/hora |
| | | 39,61 | kW (kilovatios)/hora |
| Cantidad de horas del periodo nocturno considerándolo como un día de funcionamiento (horario nocturno: 6 a 10 p.m.) | | 4 | horas |
| Cantidad de energía producida durante el horario nocturno (4h) | | 158,4 | kW/día |
| Cantidad de energía sobrante en las 4 horas de generación | | 59,4 | kW/h |
| Cantidad de energía producida durante el horario nocturno (12h) | | 475,3 | kW/h |
| Cantidad de luminarias internas (Hamlet) que iluminará el sistema piezoeléctrico | | 2515 | # Luminarias/h |
| Cantidad de luminarias alrededor que iluminará el sistema piezoeléctrico | | 396 | # Luminarias/h |
| Cantidad de postes comunes que iluminará el sistema piezoeléctrico | | 264 | # Luminarias/h |
| Cantidad total de luminarias que alimentará el sistema piezoeléctrico | | 3175 | # Luminarias/h |
| | | 45 | veces más luminarias |

*Fuente. Elaboración propia, 2019*

*Figura 29. Situación de las luminarias en el parque de Usaquén y características técnicas del sistema piezoeléctrico.*

*Fuente: Elaboración propia, 2019.*

Con la finalidad de fijar información necesaria para un ***estudio administrativo, jurídico y legal,*** se evaluó la orientación del proyecto con aspectos legales, institucionales y jurídicos, así como visiones y objetivos que se encuentran vigentes en el país.

La ley 1715 de 2014 promueve el desarrollo y la integración de fuentes de energía no convencionales al sistema energético nacional, una vez se cumplan los requisitos y procedimientos establecidos por las entidades pertinentes, dichos incentivos se reflejan en rebaja en el impuesto de renta, depreciación acelerada, exclusión de bienes y servicios del IVA y exención del pago de los Derechos Arancelarios. Además, el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá actualmente vigente, tiene como reto disminuir la huella ecológica de carbono, aumentando la resiliencia del entorno natural mediante la adopción de acciones para la gestión del riesgo y el cambio climático.

Finalizando, para dar una estimación del valor aproximado de inversión de la instalación del sistema piezoeléctrico para un ***estudio financiero,*** se fijaron los datos del precio de las baldosas piezoeléctricas Pavegen. De acuerdo con la revista Forbes, el precio por baldosa oscila entre los $75 y $160 dólares. (Forbes, 2019)

A continuación, se presenta la tabla con los cálculos correspondientes:

*Tabla 16.* Valor económicos baldosas Pavegen ©

| Unidad | Precio por unidad | Total |
|---|---|---|
| 184 | $75 dólares | 37135.5 dólares |
| 184 | $160 dólares | 79222.4 dólares |

*Fuente. Pavegen, 2019.*

*Figura 30. Fotografías del lugar de instalación.*

*Fuente. Elaboración propia, 2019.*

## 11. Conclusiones

- La falta de conocimiento que se evidencia por parte de la muestra encuestada respecto a la energía piezoeléctrica, indica que el proyecto es percibido como un elemento innovador, y que, al presentarlo de una manera dinámica, educativa y beneficiosa para el sector y su comunidad, generando un aumento en el interés por visitar el parque y al mismo tiempo aumentando la producción de energía.
- Los planes de manejo ambiental elaborados para cada impacto negativo evidenciado en el estudio de impacto ambiental, permite disponer de medidas preventivas respecto a dimensiones ambientales y sociales, esto es un aporte a la hora de implementar un proyecto de este tipo en otros lugares, ya que aseguran una mayor aceptabilidad por parte de la comunidad y las entidades normativas de la zona.
- El ahorro de emisiones de CO2 que se origina por la generación de energía a través de las baldosas piezoeléctricas, se tomaría como un aporte a la disminución de la huella ecológica que produce la ciudad con relación al factor energía, teniendo en cuenta que esta se mide por la cantidad y calidad del tipo de combustible que se usa para suministrar energía.
- La prefactibilidad efectiva del proyecto en cuanto a la eficiencia energética generada por el sistema piezoeléctrico para el suministro de energía para alumbrado público en el Parque de Usaquén es un proyecto piloto que permite dar pie a la integración de este tipo de energía renovable en otros parques o zonas de recreación a una mayor escala, para abastecer el alumbrado público de un barrio o ciudad.
- La prefactibilidad efectiva del proyecto en cuanto a la eficiencia energética generada por el sistema piezoeléctrico para el suministro de energía del alumbrado público en el Parque de Usaquén es un proyecto piloto que permite dar pie a la integración de este tipo de energía renovable en otros parques o zonas de recreación a una mayor escala, ya se para abastecer el alumbrado público de un barrio o ciudad.
- Es importante tener en cuenta las líneas de tendencia respecto a los dos momentos para observar la tendencia que tienen a presentar impactos positivos: sin proyecto se presentan impactos favorables

para el entorno; con la implementación del proyecto no solo serían favorables sino beneficiosos, es decir no ocasiona impacto negativo, sino que logra afectar de manera positiva.

- La problemática ambiental, teniendo por medio el cambio climático, constituye un desafío para la ingeniería ambiental, por tanto, desde esta disciplina se deben formular soluciones innovadoras para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la aplicación de soluciones energéticas con base en otro tipo de energías como las endosomáticas, de las cuales hacen parte las energías piezométricas; de aquí parte la utilidad del presente trabajo en la formación del ingeniero ambiental.

## 12. Recomendaciones

- Debido al flujo constante de personas a lo largo del día en el parque, se debe considerar la instalación de una batería que almacene la energía generada en ese lapso para que pueda ser utilizada no solo en alumbrado público, sino que también pueda llegar a suministrar energía a los establecimientos ubicados en la ronda del parque.
- En vista de que las baldosas actualmente no se encuentran dentro del mercado nacional y el procedimiento de importación del material es extenso, se sugiere promover la creación de una baldosa colombiana a partir de materiales naturales que posean características piezoeléctricas; es de recordar que estos se encuentran en forma de minerales o cristales en la naturaleza, en donde sobresalen el cuarzo, la turmalina y la sal de Rochelle. A pesar de contar con los incentivos ofrecidos por la Ley 1715 de 2014, los costos de importación, nacionalización y Free on Board generarían un incremento en el presupuesto de inversión del proyecto.

## 13. Referencias Bibliográficas.


- Acciona.com. (2018). La importancia de las energías renovables | ACCIONA. [online] Tomado de https://www.acciona.com/es/energias-renovables/# [Recuperado el 25 Sep. 2018].
- Alcaldía Mayor de Bogotá (2013). Guía metodológica para la Evaluación de Aspectos e impactos Ambientales. 1ra ed. [pdf] Bogotá: Tomado de http://intranetsdis.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/3.4_proc_adminis_gestion_bienes_servicios/(08052013)guia_final.pdf [Recuperado el 22 Sep. 2019].
- ANLA. (2003). *Estudio de Impacto Ambiental.* Tomado de http://portal.anla.gov.co/estudio-impacto-ambiental
- A. Patil, M. Jadhav, S. Joshi, E. B. (2015). Energy Harvesting Using Piezoelectricity: Renewable and sustainable energy conversion using Piezoelectric transducers. Akshay. IEEE, (Icesa), 517–521.
- Ariza, A., Mora, C. y Espejo M., J. (2015). Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Vial Ruta Del Sol Sector I Tramo I. [pdf] Consultoría Colombia S.A. Tomado de: ftp://ftp.ani.gov.co/Ruta%20del%20Sol%20I/Tramo%20Villetas%20%20-%20Guaduas/ENTREGA%20FINAL/disco58/Capitulo%205.pdf [Recuperado el 13 oct. 2019].
- Camero, J. A. (octubre de 2004). *Estudio de prefactibilidad de un proyecto para la prestación de servicios de acabados para vivienda de interés social en Bogotá D.C.* Tomado de https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis45.pdf
- Contreras Calderón, J., & Morales Espitia, M. A. (2016). Análisis de Conveniencia de la Implementación de la Energía Piezoeléctrica en las Salas de Cine Colombia en la Ciudad de Bogotá DC.
- Coria, I. D. (junio de 2008). *EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.* Tomado de https://www.redalyc.org/pdf/877/87702010.pdf

- Decreto 582 de 2012. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 21 de diciembre de 2012. Tomado de https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=50989
- Encyclopedia Britannica, I. (2012). *Gran Atlas de la Ciencia.* Barcelona - Buenos Aires: Sol 90.
- Forbes (2019). *In Washington, DC, People Are Using Their Feet To Turn On The Lights*. [online] Tomado de: https://www.forbes.com/sites/hilarybrueck/2016/11/18/pavegen-energy-generating-sidewalk/#225d6a1478da [Recuperado el 13 Oct. 2019].
- Galetovic, Alexander, & Muñoz, Cristián M. (2011). Carbón versus viento. Los costos de generar electricidad incluyendo las externalidades ambientales. El trimestre económico, 78(312), 753-779. Tomado el 12 de octubre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2011000400753&lng=es&tlng=es.
- González, A., Cesari, R., & Vicioli, R. (2009). Materiales piezoeléctricos y efecto piezoeléctrico [pdf] (1ra ed.). Mendoza, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional. Tomado de http://www1.frm.utn.edu.ar/tecnologiae/apuntes/piezoelectricidad.pdf
- González Estrada, T., & Valencia Marín, J. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Tomado el 31 August 2019, de http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf
- Guía práctica para la construcción de muestras. (2012). [pdf] Chile: Unidad Técnica de Control Externo. Tomado de: https://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic4_chl_const.pdf [Recuperado el: 13 oct. 2019].
- Jiménez Herrero, L. and Montalvo Santamaría, A. (s.f.). Manual de cálculo y reducción de huella de carbono para actividades de transporte por carretera. 1st ed. [pdf] España: Observatorio de la Sostenibilidad en España, p.1. Tomado de http://www.comunidadism.es/wp-content/uploads/downloads/2013/06/manual_huella-carbono_transporte.pdf [Accedido 11 Oct. 2019].
- Jiménez Rubio, F. (2018). Tomado de http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13444/1/JimenezRubioFredyAlexander2018.pdf
- Li, Xiaofeng & Strezov, Vladimir. (2014). *Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building. Energy Conversion and Management.* 85. 435-442. 10.1016/j.enconman.2014.05.096.
- Ministerio de Minas y Energía. (2014). Ley 1715 de 2014 [pdf]. Tomado de http://www.fedebiocombustibles.com/files/1715.pdf
- Molina, Á. G. (18 de junio de 2018). *Diseño de un Sistema de energy harvesting basado en piezoeléctricos.* Tomado de https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/33621/TFG_Gomez_Molina_2018.pdf?sequence=1
- Morales Espitia, A. (2016). *Proyecto curricular: Administración ambiental* [pdf]. Bogotá D.C. Tomado de http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/4244/1/ContrerasCalder%C3%B3nJuliana2016.pdf
- N.L.Panwara, S. S. (Abril de 2011). *Role of renewable energy sources in environmental protection: A review*. Tomado de https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004065
- Osorio Rosado, C. (2016). La Consulta popular ante los impactos ambientales de la construcción de Proyectos Hidroeléctricos en Colombia. Estudio del Caso de la hidroeléctrica El Quimbo. 1st ed. [pdf] Bogotá, Colombia: Universidad Católica de Colombia. Tomado de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15905/1/Impactos%20ambientales%20de%20los%20proyectos%20hidroelectricos%20en%20Colombia.pdf [Recuperado el 26 May 2019].
- Pardo Camero, J. (2004). *Estudio de prefactibilidad de un proyecto para la prestación de servicios de*

*acabados para vivienda de interés social en Bogotá D.C.* [pdf]. Bogotá D.C. Tomado de https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis45.pdf

- Pavegen. (2019). Pavegen | Smart Cities - Connecting people to places - Case Studies. [online] Tomado de: https://pavegen.com/smart-cities/#caseStudies [Recuperado el 13 oct. 2019].
- PROCOLOMBIA. (2015) Electric Power in Colombia Power Generation. Bogotá, Colombia. Tomado de http://large.stanford.edu/courses/2017/ph240/pinilla2/docs/procolombia-2015.pdf
- Rincón-Jara R., A. R. (24 de mayo de 2012). *Modelado analítico de un micro generador de potencia basado en tecnología MEMS y materiales piezoeléctricos.* Obtenido de http://smcsyv.fis.cinvestav.mx/supyvac/25_2/SV25211012.pdf
- Secretaría Distrital de Planeación – Alcaldía de Bogotá (2018). Plancha de Usos Permitidos UPZ No. 14. [Plano] Bogotá.
- Sepúlveda Orozco, E. (2014). *Diseño de un Colector de Energía Piezoeléctrico (Energy Harvesting) Mediante Optimización Topológica que Maximice la Transformación de Energía Mecánica en Eléctrica Generada por un Ser Humano al Caminar*. 1st ed. [pdf] Medellín, Colombia: Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería Mecánica. Tomado de http://www.bdigital.unal.edu.co/47308/1/1128267719.2015.pdf [Recuperado el 21 Feb. 2019].
- Soto Soto, I. R., & Werner Rodríguez, L. J. (2009). *Evaluación técnica y económica de una central termoeléctrica en la región de los ríos.* Tomado de http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcis7182e/doc/bmfcis7182e.pdf
- Tamayo Zapata, D. and Cardozo Gutiérrez, N. (2017). *EL USO DE PIEZOELÉCTRICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA SOSTENIBLE COMO PROYECTO PILOTO EN UN PERFIL VIAL DE BOGOTÁ.* 1st ed. [pdf] Bogotá, Colombia: Programa de Ingeniería Civil. Tomado de: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14488/1/Proyecto%20de%20grado%20piezoelectricos%20en%20perfil%20vial%20piloto%20en%20Bogot%C3%A1.pdf [Recuperado el 21 Feb. 2019].
- Tena Torrecilla, K. (2017). Implementación de sensores piezoeléctricos para la generación eléctrica bajo calzada: aplicaciones en el Aeropuerto de Barcelona (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Yáñez Sandoval, Armando (2004). La captura de carbono en bosques: ¿una herramienta para la gestión ambiental? Gaceta Ecológica, (70), undefined-undefined. [Recuperado el 13 de octubre de 2019]. ISSN: 1405-2849. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=539/53907001

## 14. Glosario de términos

**Autogeneración:** Aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus propias necesidades. (Ley 1715 de 2014, 2014)

**Autogeneración a gran escala:** Autogeneración cuya potencia máxima supera el límite establecido por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (Ley 1715 de 2014, 2014)

**Autogeneración a pequeña escala:** Autogeneración cuya potencia máxima no supera el límite establecido por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (*Ley 1715 de 2014*, 2014)

**Desarrollo sostenible:** Aquel desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades, por lo menos en las mismas condiciones de las actuales. (Ley 1715 de 2014, 2014)

**Estudio de prefactibilidad**: Etapa de la preparación y ejecución de un proyecto de inversión, posterior al nacimiento de la idea inicial y anterior al estudio de factibilidad, donde se detallan más los aspectos señalados como términos de referencia, profundizando en los cálculos, estimaciones e investigaciones, a fin de identificar las alternativas convenientes, que se estudiarán como factibles. (Pardo Camero, 2004)

**Eficiencia energética:** Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, que busca ser maximizada a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles. (Ley 1715 de 2014, 2014)

**Fuentes no convencionales de energía:** Son aquellos recursos de energía disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizados de manera marginal y no comercializan ampliamente. Se consideran FNCE la energía nuclear o atómica y las FNCER. (Ley 1715 de 2014, 2014)

**Fuente no convencionales de energía renovable:** Son aquellos recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran FNCER la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares. (Ley 1715 de 2014, 2014)

**Piezoelectricidad:** Es la electricidad producida debido a presiones lo cual genera una polarización eléctrica producida por la expansión o compresión de cristales en la dirección de un eje de simetría. (Morales Espitia, 2016)