

Diagnosis of the life's quality of the Zonal Planning Units (UPZ) 35 and 36 of the city of Bogotá, taking into account the impact of electrical substations based on the quantification of the carbon footprint

Mayernis Sánchez-Martínez & Camilo Andrés Vargas-Terranova

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. mayernissanchez54@unisalle.edu.co, cvterranova@unisalle.edu.co

Received: September 9th, 2020. Received in revised form: May 11th, 2021. Accepted: May 31th, 2021.

Abstract

Multiple phases are involved in the production process of energy generation. The transmission and distribution are the closest phases to the urban population, specifically with the electrical substations and distribution lines. This type of conventional energy production not only generates a carbon footprint, but also possible health side effects. Therefore, this work sought to identify the risks associated with health and the environment caused by the substations and distribution lines located in UPZ 35 and 36. It was concluded that by improving determinants of health through promotion in health and the implementation of healthy environments, the population will have a more favorable perception of health. Finally, the Ciudad Jardín's carbon footprint reduction was 66.12%, and 33.11% in San José by installing a photovoltaic system.

Keywords: reducing electrical substation; human health; electric power generation; renewable energy; solar panels; carbon footprint.

Diagnóstico de la calidad de vida de las Unidades de Planeación Zonal (UPZ) 35 y 36 de la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta las incidencias de las subestaciones eléctricas a partir de la cuantificación de la huella de carbono

Resumen

En el proceso productivo de generación energética se ven involucradas múltiples fases, en donde la transmisión y la distribución son las fases más cercanas a la población urbana, específicamente con las subestaciones eléctricas reductoras y las líneas de distribución. Este tipo de producción de energía convencional no solo genera huella de carbono, sino posibles afectaciones a la salud. Por lo tanto, este trabajo buscó identificar los riesgos asociados a la salud y al medio ambiente ocasionados por las subestaciones y líneas de distribución ubicadas en las UPZ 35 y 36. De esta manera se concluyó que al mejorar los determinantes en salud a través de la promoción en salud y la implementación de entornos saludables, la población tendrá una percepción en salud más favorable. Por último, se obtuvo una reducción de huella de carbono de 66,12% en Ciudad Jardín, y 33,11% en San José al emplazar un sistema fotovoltaico.

Palabras clave: subestación eléctrica reductora; salud humana; generación de energía eléctrica; energías renovables; paneles solares; huella de carbono.

1. Introducción

La Huella de Carbono (HdC), representa la magnitud de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera derivados de forma directa e indirecta por las actividades de producción o consumo de bienes y servicios [1]. Los GEI,

son aquellos que constituyen una capa permanente en la parte media de la atmósfera, la cual impide que toda la radiación solar reflejada por la tierra logre salir nuevamente, generando un aumento de la temperatura bajo esta capa. [2]

La dependencia de Colombia en la generación hidroeléctrica implica graves riesgos al medio ambiente al

How to cite: Sánchez-Martínez, M. and Vargas-Terranova, C.A., Diagnóstico de la calidad de vida de las Unidades de Planeación Zonal (UPZ) 35 y 36 de la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta las incidencias de las subestaciones eléctricas a partir de la cuantificación de la huella de carbono.. DYNA, 88(218), pp. 247-256, July - September, 2021.

© The author; licensee Universidad Nacional de Colombia. 
Revista DYNA, 88(218), pp. 247-256, July - September, 2021, ISSN 0012-7353
DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n218.90450>

producir GEI a través de la infraestructura contemplada en el sector energético [3]. Por el contrario, la energía solar tiene un gran potencial en el país, dado que sus condiciones naturales son favorables para la generación fotovoltaica y los niveles de radiación por región a lo largo del año son constantes gracias a su cercanía con la zona ecuatorial [4].

En la producción de energía hidroeléctrica se ven involucradas múltiples fases, que constan de generación, transmisión, y distribución, siendo la transmisión y la distribución las fases más cercanas a la población urbana, específicamente con las subestaciones eléctricas reductoras y las líneas de transmisión. “Las subestaciones eléctricas reductoras son un conjunto único de instalaciones, equipos eléctricos y obras complementarias, destinado a la transferencia de energía eléctrica, mediante la transformación de potencia a un nivel más bajo. Es un nodo del sistema que está interconectado con los demás nodos, mediante líneas y que por su diseño permite modificar la topología o conectividad de toda la red.” [5].

Para este trabajo se calcularon las emisiones de carbono asociadas al uso de energía eléctrica por fuentes convencionales en los sectores de estudio que conforman esta investigación, es decir, en las Unidades de Planeación Zonal (UPZ) 35 y 36 de Bogotá para predios con tipología de uso comercial, dependientes del Sistema Interconectado Nacional que produce una huella de carbono la cual afecta el entorno y genera una posible afectación a la salud humana. De esta forma los datos fueron obtenidos por medio de instrumentos de recolección de información distribuidos aleatoria, proporcional y espacialmente en las áreas definidas.

La UPZ 35 (Ciudad Jardín), ubicada en la localidad de Antonio Nariño, es un sector residencial consolidado de estrato 2 y 3, con 133 ha que comprenden un total de 162 manzanas y se encuentra aledaña a la subestación eléctrica reductora Calle Primera, perteneciente a CODENSA, con un nivel de tensión 4, [6] que posee una capacidad mayor o igual a 57.5 kV y menor a 220 kV. Del mismo modo, la UPZ 36 (San José), ubicada en la localidad Rafael Uribe, es de tipo residencial consolidado y cuenta con 208 ha, tiene un total de 258 manzanas, posee una subestación eléctrica reductora llamada San Carlos AT/MT [7], y que se encarga de bajar una alta tensión de entre 57,5 kV a 230 kV, a una tensión de entre 1000 V a 57,5 kV [8].

Gracias al emplazamiento de estas dos subestaciones eléctricas reductoras, se hace necesario evaluar cuál es la incidencia de estas, sobre la salud de la población, identificando si en realidad existe un riesgo a las personas o al medio que las rodea. Debido a que en diferentes informes se han mencionado y discutido los efectos adversos, que la población adquiere a causa de la intensidad de las corrientes que pueden estimular los nervios y músculos o afectar a otros procesos biológicos, y por ende la salud humana [9]. De este modo, se buscó determinar su incidencia para un individuo en contacto con una subestación reductora la cual es la conexión final para la conversión de tensión eléctrica desde la planta de generación, transmisión y el último punto que es la conexión a viviendas a un voltaje de baja peligrosidad para los consumidores. [10].

La incidencia de una subestación a la salud se pretendió determinar con encuestas de morbilidad sentida que permiten

identificar, no solo el impacto que se genera a las comunidades, sino también al medio ambiente, incluyendo así el medio biótico y abiótico. La morbilidad sentida (MS), hace referencia a la información suministrada por las personas acerca de su estado de salud, como producto de sus conocimientos e interpretaciones, a partir de su percepción en salud, frente a las condiciones propias de su entorno (condiciones socioeconómicas, culturales y ambientales) [11]. De esta manera, se busca evidenciar una afectación a la población referente al uso de energía convencional, y se plantean nuevas alternativas para mejorar su morbilidad sentida en la zona de estudio con los entornos saludables.

2. Materiales y métodos

En primer lugar, se realizó una encuesta de energía y morbilidad sentida que buscaba la valoración de las 24 enfermedades y síntomas que se podrían presentar en la población de los establecimientos comerciales, para determinar si existía relación con las emisiones de carbono y la contaminación electromagnética de las subestaciones eléctricas, de esta manera se consideraron preguntas referentes a problemáticas ambientales en el entorno y los hábitos que tenían cada una de las personas encuestadas.

La encuesta de morbilidad sentida se realizó con el fin de encontrar relaciones entre la percepción que las personas tienen sobre su salud y una posible afectación en cuanto a la cercanía de subestaciones y líneas de distribución de energía eléctrica, de este modo con los resultados obtenidos en dicho estudio se procedió a identificar patrones en los diferentes síntomas, enfermedades, hábitos, edades, entre otras variables a evaluar en la misma.

Se llevó a cabo una comparación entre las dos UPZ's, para evidenciar si existía un contraste notorio, de la percepción de la salud según la zona en donde se encuentran los comercios. El análisis de los resultados se hizo a partir del modelo multinivel de los determinantes de la salud de Dahlgren & Whitehead, conocidos como los factores personales, sociales, económicos y ambientales que revelan el estado de salud de los individuos. [12].

Por otro lado, se asociaron preguntas que identificaban la actividad que desarrollaba el establecimiento, sus ingresos mensuales, tipos de aparatos eléctricos utilizados, y el tiempo de la jornada laboral, integrando así, cuestiones frente a la huella de carbono y una posible inversión por rangos, para el cambio a un sistema de energía solar.

Con respecto, a la valoración de la morbilidad sentida y huella de carbono, se realizó el análisis de un modelo de distribución espacial ponderado y proporcional con respecto al número de comercios en cada una de las manzanas distribuidas tanto para la UPZ 35, como para la UPZ 36 [13]. Se determinó el número de muestras a realizar con un muestreo estadístico para poblaciones finitas, tomando como referencia un nivel de confianza del 90%, probabilidad de error del 10% y un error de precisión del 6%, estos porcentajes se escogieron a criterio de los autores frente a los recursos disponibles en la ejecución de encuestas, y el tiempo en el que se debían efectuar las mismas.

La unidad de muestreo escogida fueron las manzanas, y al obtener el porcentaje de establecimientos comerciales

dentro de las mismas, se calculó de manera proporcional con respecto al número de muestras (encuestas) a realizar, el total de encuestas a ejecutar por manzana. Asimismo, se excluyeron del cálculo todos aquellos recintos institucionales, iglesias, centros médicos y estaciones de gasolina. La fórmula para calcular el tamaño óptimo de muestra cuando se conoce el tamaño de la población [14], fue la siguiente:

$$n = \frac{NZ^2S^2}{(N-1)E^2 + Z^2S^2} \quad (1)$$

Donde:

n = Número de encuestas

N= Tamaño de la población

E= Precisión

Z=Nivel de confianza

De esta manera, tanto para la UPZ 35 como la 36, se determinó el número de establecimientos por manzana, se halló el número total de comercios para cada UPZ, y por medio del programa estadístico MAS II, con un 90% de confianza, y un 6% de error en la precisión, se discriminó el número de muestras (encuestas) totales (E) respectivamente. El número de encuestas se estableció con las siguientes formulas:

$$\% Ec(m) = \frac{No. Ec(m) * 100}{No. Total Ec (UPZ)} \quad (2)$$

Donde:

% Ec(m) = % establecimientos comerciales por manzana
Ec(m) = No. de establecimientos comerciales por manzana

Total Ec (UPZ)= No. total de establecimientos comerciales por UPZ

$$M(m) = E * \% Ecm \quad (3)$$

Donde:

M(m) = No.de muestras por manzana

E = No.de encuesta

% Ec(m) = % establecimientos comerciales por manzana

A partir de los resultados obtenidos en las encuestas se determinó el consumo de energía eléctrica promedio por manzana según el número de muestras a tomar en las mismas, al realizar un promedio aritmético se dividió la suma de las observaciones por el número de esas observaciones, debido a que expresaba el punto medio entre los consumos con mayores y menores valores. [15]. El precio del kWh/mes, tiende a fluctuar no solo mes a mes, sino a distintas horas del día (Punta y Fuera de Punta), es por esto que se escogió el valor tipo Monomía, el cual hace referencia al costo promedio al mes, siendo la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) la encargada de fijar este costo de las tarifas [16].

De igual manera, se diferenció la tipología del lugar tanto residencial como comercial, debido a que la tarifa para residencial varía con respecto a la comercial, en donde

también se adaptó del tarifario el valor promedio entre los meses de agosto a septiembre, y se distinguió entre los estratos pertenecientes de las UPZ (estrato 2 y 3). Del mismo modo, existían predios a los cuales debía calcularse su consumo a partir de los aparatos eléctricos que poseían y el tiempo de uso de estos, esto se logró con una tabla de consumos promedio y los simuladores de consumos de las empresas Enel-Codensa y Energuaviare. [17-19]

En la encuesta la pregunta referente al consumo reflejaba el valor que pagaba la persona en total por la energía eléctrica, al tener el costo total, este debía dividirse por el costo promedio de la tarifa y de esta manera estimar el consumo promedio. Seguido a esto, el consumo promedio de los comercios se multiplicaba por el número de establecimientos comerciales pertenecientes a cada manzana, y así se obtenía el consumo promedio por manzana. Este consumo promedio se multiplicó por 12 meses, dando como resultado el consumo promedio anual por manzana. De este modo, al consumo de cada una de las manzanas se le multiplicó el factor de huella de carbono, el cual se actualiza cada año por parte de la Unidad de Planeación Minero- Energética (UPME) que para el año 2019, fue de 0,381 Kg CO₂/kWh [20]. Así pues, se transformaron los datos obtenidos, a toneladas CO₂ por año (Ton CO₂/año) de cada una de las manzanas.

Con respecto al diseño fotovoltaico se determinó el área disponible en las terrazas de cada una de las manzanas de las UPZs, con la ayuda de la herramienta Google Earth, a partir de esto se generaron los polígonos necesarios que indicaban el área libre, la cual fue sumada y multiplicada por el 40% debido a que solo este porcentaje del espacio total será el disponible realmente [21]. Posteriormente, se tomó como referencia para el cálculo de la potencia instalada o potencia pico de la zona, un panel con una potencia de 150 w/m², debido a que es la mínima potencia generadora nominal que se puede alcanzar para la ciudad de Bogotá. [21].

Al establecer el tipo de panel, se calculó la potencia instalada al multiplicar el área disponible real y la potencia generada nominal, junto con el simulador de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), conocido como PV Performance Tool, en donde se ingresaron los datos, para la simulación tipo Grid-Tie o Grid-connected. De este modo, se calculó la nueva huella de carbono para las dos UPZ por manzana en Ton CO₂/año, y en porcentaje la reducción de huella de carbono generada con la implementación de los paneles solares.

Finalmente, las salidas gráficas que reflejan los resultados de los datos de huella de carbono antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico, fueron diseñados a partir de shapefiles provenientes de La Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital [22], en el programa Arcmap.

Para la creación del shapefile de huella de carbono (tipo punto) se optó por realizar una interpolación con IDW (Inverse Distance Weighting) y Kriging para comparar su comportamiento, debido a que Kriging se encarga de cuantificar la estructura espacial de los datos -a través de variogramas conocidos también como semivariogramas por su similitud en el cálculo- y los predice mediante la interpolación, usando estadística. Los datos más cercanos a un punto conocido poseen mayor importancia sobre la interpolación, influencia que se va estrechando conforme se aleja del punto de estudio. [23]

La medición de la probabilidad, interpretada por los métodos Kriging, se diferencia de las metodologías determinísticas para interpolaciones espaciales, como el de ponderación de distancias inversas (IDW: inverse distance weighting) - que es uno de los más usados -, gracias a que IDW es similar al Kriging ordinario, porque da más peso a los valores cercanos a un punto, pero posee una menor complejidad del cálculo, mientras que IDW utiliza un algoritmo simple basado en las distancias de los puntos. [23]

3. Resultados y discusión de resultados

La operación de una subestación eléctrica comprende actividades como la transformación de energía eléctrica a un nivel de tensión más bajo, esta requiere un monitoreo permanente de variables como tensión y corriente, las cuales generan impactos directos a la salud, porque su funcionamiento continuo produce campos electromagnéticos de baja frecuencia sobre la glándula pineal, la melatonina, la barrera hematoencefálica, el transporte de iones intercelular, sobre el sistema endocrino y la fijación del yodo, alteraciones de los ritmos circadianos de sueño y vigilia, etc. [24].

Por otro lado, cuando se habla de la red de distribución, se incluyen los circuitos primarios, secundarios y transformadores de distribución. Los circuitos primarios y secundarios son la red de conductores que interconectan las subestaciones reductoras de distribución, con sus respectivos transformadores de distribución localizados en diferentes barrios y zonas urbanas privadas. Las redes de flujo de potencial eléctrico en baja tensión, en su fase operacional, presentan algunas problemáticas para el ambiente, siendo uno de los casos, el efecto adverso de la línea sobre la vida de diferentes especies animales, así como sobre la vida de las personas, específicamente en estas situaciones se pueden explicar estos efectos negativos por la falla del material conductor, asentamiento de animales en líneas abiertas, caída de conductores, lo que podría llegar a causar a su vez, una deficiencia en el servicio de electricidad [25].

Como parte final del sistema de transmisión y distribución eléctrica nacional, se encuentran los transformadores de distribución, quienes son los encargados de la reducción del voltaje del alimentador primario al voltaje de utilización del usuario. En su fase de maniobra, los transformadores generan afectaciones a nivel ambiental, causadas por todo lo referido a su proceso de instalación, así como de energización o puesta en marcha, estos procesos llevados a cabo en esta fase, son los causantes de la afectación por el riesgo de arcos eléctricos y la generación de ruido [25]. De igual manera en su fase de operación, los problemas o riesgos al ambiente se basan en la afectación a diferentes especies animales, generación de campos electromagnéticos y posibles fallas de los conductores, lo cual puede llevar a muertes por electrocución, tanto de animales, como de personas [26].

3.1 Síntomas y enfermedades

Frente a los resultados de las encuestas en Ciudad Jardín, el 15% de las personas no presentaron ningún síntoma o enfermedad, mientras que el 85% de la población encuestada sufre, aunque sea uno de los 24 síntomas o enfermedades. Por

su parte San José presenta un 13% de población con una morbilidad sentida totalmente favorable, mientras que el 87% manifiesta experimentar uno o más síntomas o enfermedades. De igual manera es importante resaltar que en la UPZ de Ciudad Jardín, el 54% de las personas que no presentan ningún síntoma o enfermedad, se encuentran en un rango de edad de 26 a 35 años, mientras que, en San José, no hay una tendencia de edad en aquellos que no presentan afecciones en su salud.

En cuanto a la salud, los datos entregados por las encuestas arrojan valores bastante cercanos para los diferentes síntomas y enfermedades en las dos UPZ. Al ejecutar un análisis más detallado, se encuentran datos considerablemente similares con diferencias iguales o menores a 3 casos. Es importante, esclarecer que el gráfico de síntomas y enfermedades se tomó como número de casos, debido a que una persona puede llegar a presentar más de uno de estos síntomas o enfermedades, y sería erróneo expresar estos datos en porcentaje de personas. (Fig. 1).

Para realizar un trabajo más eficiente se tomaron sintomatologías presentes en estudios dirigidos a personas expuestas a subestaciones eléctricas y los campos electromagnéticos que estas generan, “Los campos eléctricos y magnéticos de extremada baja frecuencia (ELF, por sus siglas en inglés) pueden afectar el sistema nervioso de las personas expuestas a ellos, resultando en consecuencias adversas para la salud” [27].

De igual manera a partir de estos estudios se identificaron los diferentes síntomas y enfermedades crónicas que se pueden asociar a la afectación de los campos electromagnéticos, tales como: somnolencia, ya que se han reportado modificaciones neuroendocrinas, y supresión de la síntesis de melatonina nocturna, a causa de campos eléctricos inducidos de baja frecuencia; cáncer, donde la International Agency for Research on Cancer – IARC, manifiesta que los campos magnéticos de muy baja frecuencia son posiblemente cancerígenos para los humanos, ubicados en el Grupo 2B. Hay que tener en cuenta que se encontró evidencia muy limitada en la que se relacionara la exposición a campos magnéticos de muy baja frecuencia con la leucemia infantil, y evidencia inadecuada con cualquier tipo de cáncer. [28].

En este trabajo se encontró un gran número de personas que aseguran sufrir de manera frecuente: dolores de cabeza (40 Ciudad Jardín y 31 San José), cansancio (43 Ciudad Jardín y 46 San José), somnolencia (20 Ciudad Jardín y 24 San José) (Figura 1). Esto sugiere una relación entre los síntomas y la posible afectación de las subestaciones reductoras en las personas, sin embargo, es importante tener en cuenta que, frente a los tumores y cualquier tipo de cáncer, se registraron cero casos para las dos UPZ, lo que podría descartar estas dos enfermedades como parte de la afectación que llegarían a generar los campos electromagnéticos de baja frecuencia. Por otro lado, en síntomas y enfermedades evidenciadas en ambas UPZ con cantidades de casos muy cercanos (comportamiento agresivo, pérdida progresiva de la audición, altos niveles de estrés, temblores frecuentes, depresión, enrojecimiento de la piel, tos frecuente, náuseas o vómitos, problemas respiratorios, infecciones en las vías respiratorias o pulmonares frecuentes, y presión arterial baja), podrían relacionarse con otros factores, tales como: edad, hábitos, factores ambientales de su entorno, horarios de trabajo, entre otros.

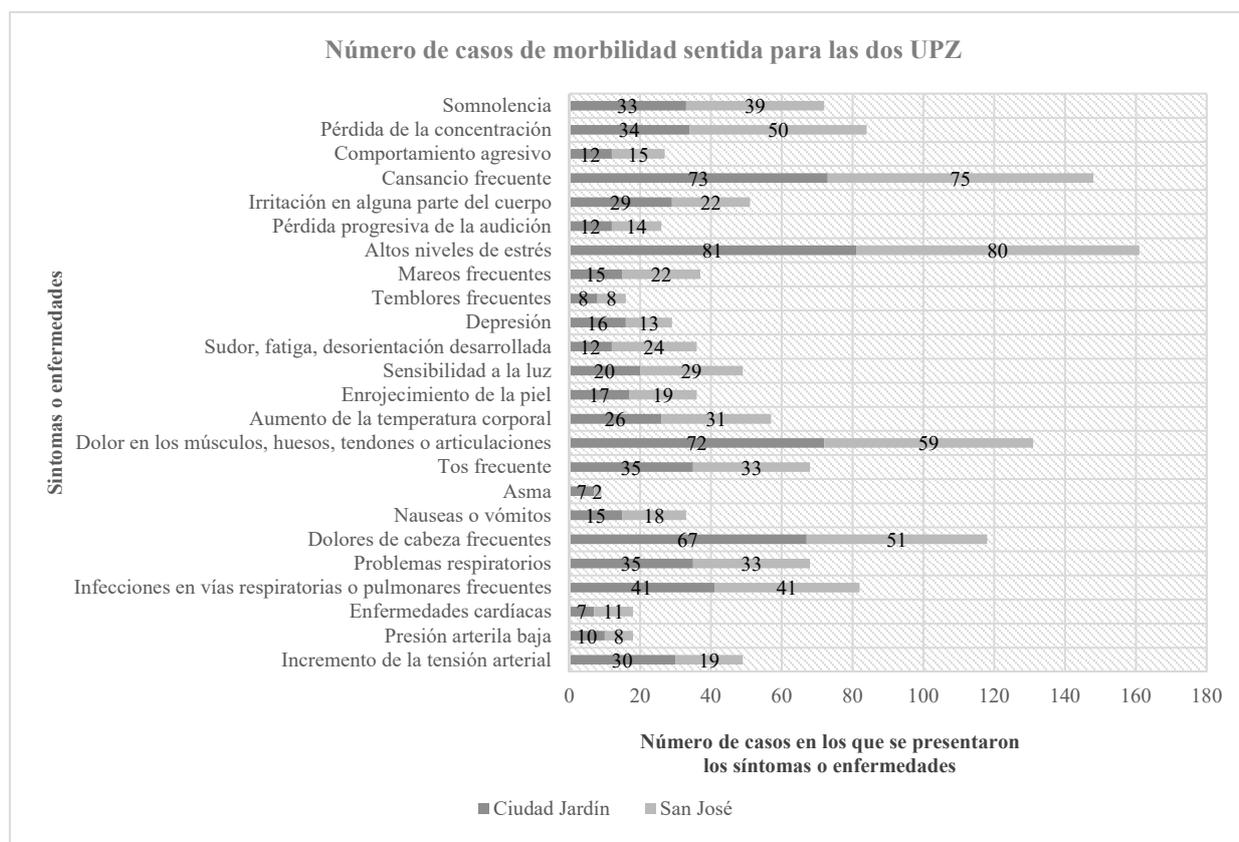


Figura 1. Número de casos de morbilidad sentida para las UPZ 35 Y 36
Fuente: Los autores.

La afectación debida al ambiente en el que viven las personas, se explica de manera más exacta por el modelo de Dahlgren y Whitehead, donde se profundiza en los factores que pueden intervenir en cuanto al estado de salud que tiene una persona o cómo esta misma la percibe, conocidos como determinantes en salud, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es importante resaltar que gran parte de los factores sobrepasan la escala individual, y por esto a pesar de ver coincidencias en las respuestas de los encuestados, así como patrones en síntomas y enfermedades, no necesariamente se deben relacionar con problemáticas a causa de subestaciones o líneas de distribución eléctrica.

En este modelo, existen 4 grupos de determinantes de la salud: medio ambiente: físico (contaminación, urbanismo, acceso al agua potable) y socio-cultural; estilos de vida: actividad física, alimentación, conductas adictivas; sistema sanitario: accesibilidad, precio, listas de espera, calidad de atención y biología humana: carga genética, envejecimiento [12], al tomar esto en cuenta y realizar un análisis de los diferentes factores, se puede ver una implicación directa en cuanto a la salud de la población encuestada: las problemáticas evidenciadas por la población de las UPZ se consiguen clasificar en dos grupos, donde el primer grupo es de las problemáticas con porcentajes alarmantes para las personas (con más del 50% del total), donde se encuentran la contaminación del aire, con un 73% en ambas UPZ y el ruido con un 66% para Ciudad Jardín y un 73% para San José.

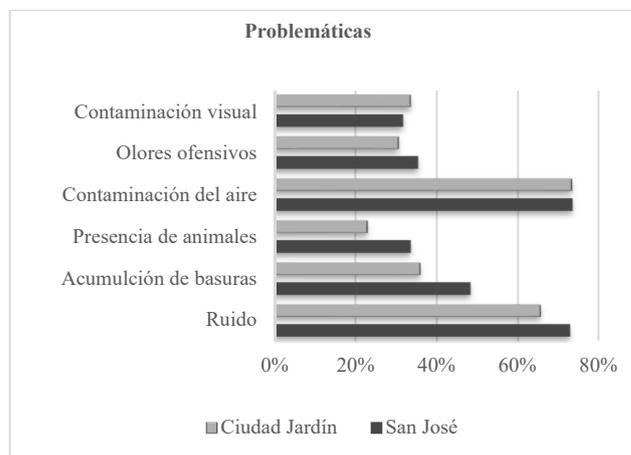


Figura 2. Problemáticas que evidencian los encuestados en su entorno (porcentaje).
Fuente: Los autores.

Por otro lado, se tiene un segundo grupo, donde se encuentran problemáticas evidenciadas con un menor porcentaje de importancia: contaminación visual (34% y 32%), olores ofensivos (31% y 36%), presencia de animales (26% y 34%), acumulación de basuras (36% y 48%). (Fig. 2)

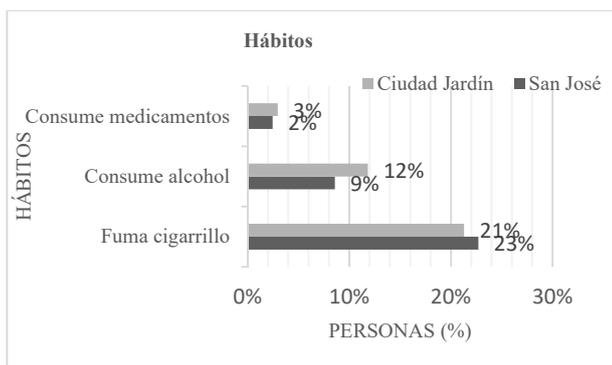


Figura 3. Hábitos presentes en la población encuestada
Fuente: Los autores.

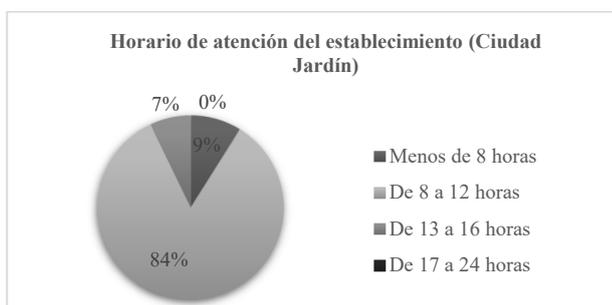


Figura 4 - Horarios de atención de los establecimientos encuestados UPZ Ciudad Jardín (porcentaje)
Fuente: Los autores.

Es así como las diferentes problemáticas evidenciadas por la comunidad logran dar un indicio para la identificación de los síntomas y enfermedades que son causados por características de su ambiente, y de esta manera diferenciar las sintomatologías que pudieran ser causadas por el sistema distribución eléctrico. Siendo más específicos, problemáticas como la contaminación por basuras, puede afectar algunos suministros de aguas, así como por la mezcla de basuras, se puede correr el riesgo de amenazas de origen químico en el ambiente, esto junto con los olores ofensivos evidenciados por los encuestados, pueden explicar problemas tales como: infecciones oculares y respiratorias secundarias a la exposición a polvos infectados, especialmente con las operaciones de descarga de basuras [29].

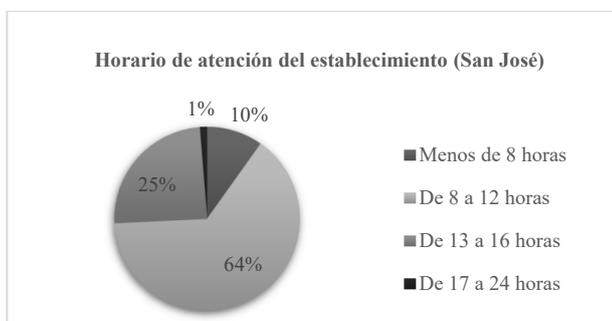


Figura 5 - Horarios de atención de los establecimientos encuestados UPZ San José (porcentaje).
Fuente: Los autores.

Por otra parte, si se analizan los hábitos de los habitantes de las dos UPZ a comparar, no se encuentran grandes diferencias, en ambos casos se denota un porcentaje mayor de personas fumadoras (hasta un 23%) con respecto a las que consumen alcohol (hasta un 12%) y en un porcentaje mucho menor para quienes consumen medicamentos (hasta un 3%). (Fig. 3).

Considerando de manera más puntual el consumo de cigarrillos, se evidencia un alto consumo de entre 1 y 5 cigarrillos diarios y un consumo significativamente menor en cuanto a grandes cantidades de cigarrillos, que son de 6 a 15 cigarrillos diarios. Asimismo, cabe mencionar que se denota una mayor cuantía de personas fumadoras en la UPZ San José con respecto a la de Ciudad Jardín, con una diferencia del 2%, lo que representa 1 persona demás que fuma cigarrillos, en este punto se puede referir a la afectación de la persona sobre su propio estado de salud y su percepción del mismo, ya que hay diferentes factores individuales, mencionados en el modelo de Dalhgren y Whitehead, como: el sexo, edad, hábitos y factores hereditarios, que de esta manera inciden sobre la salud de las personas, desde sus hábitos, como en este caso lo son la ingesta de bebidas alcohólicas y el consumo de cigarrillos frecuentemente, que afectan de manera negativa en la salud, como se ha demostrado en innumerables estudios de salud.

Asimismo, los horarios de atención de los establecimientos encuestados, en su gran mayoría son de 8 a 12 horas (84% Ciudad Jardín y 64% San José), lo que puede causar una serie de problemas en la salud de los trabajadores, como lo han demostrado diversos estudios a nivel mundial, entre los cuales se pueden nombrar: ansiedad, riesgo de obesidad, entre otros sin relación con los datos recogidos a partir de las encuestas, aunque de igual manera se evidencian enfermedades y síntomas en común como: la depresión, problemas cardiovasculares e insomnio. Por otro lado, horarios más extensos: de 13 a 16 horas (7% Ciudad Jardín y 25% San José), con mayor afectación individual a la salud, pero una menor incidencia en la población en general, ya que se presenta en una cantidad menor de establecimientos; de 17 a 24 horas (0% Ciudad Jardín y 1% San José) con una cantidad despreciable de casos; y por último, horarios de menos de 8 horas diarias (9% Ciudad Jardín y 10% San José) no representan un riesgo para la salud de las personas (FigS. 4, 5). [30].

Es importante resaltar que una alta exposición a estos campos electromagnéticos de baja frecuencia podría llegar a ser una de las causas por las cuales se presentaría alguna de las afectaciones a la salud anteriormente mencionadas.

Cabe mencionar que, al existir unos buenos determinantes de la salud, el entorno de las personas mejorará de manera significativa y por ende su percepción en salud será mucho más favorable. De esta forma el concepto de promoción en salud toma lugar, debido a que se pueden lograr soluciones efectivas para las problemáticas en salud que presenta la población a partir de 3 ejes como: la buena gobernanza, la educación sanitaria y las ciudades saludables, donde uno de los mayores protagonistas es el ente territorial encargado de generar políticas que busquen mejorar la salud pública de sus habitantes, e incluso permitiendo acceso a información, conocimientos y aptitudes que posibiliten la elección de opciones más saludables y en beneficio de sí mismos [31].

Tabla 1.

Presentación de datos de la huella de carbono proyectada, junto con la huella de carbono actual y su reducción

Resultados de la huella de carbono		
	UPZ 35	UPZ 36
Huella de carbono total actual (TonCO ₂ /año)	1407,87	1743,78
Huella de carbono total proyectada (Ton CO ₂ /año)	476,88	1166,40
Porcentaje de reducción (%)	66,12	33,11

Fuente: Los autores.

Por su parte la búsqueda de ciudades saludables tendrá como objetivo una buena planificación urbana que contribuirá a mejorar los determinantes de los individuos. Es relevante mencionar que los entornos de trabajo saludables son los que también ayudarán a mejorar los determinantes de la población que trabaja en los establecimientos comerciales, ya que estos buscan que los trabajadores tengan una visión conjunta de la salud y bienestar, proporcionándoles a todos los miembros fuerza de trabajo, condiciones físicas psicológicas, sociales y organizacionales que protegen y promueven la salud y la seguridad. [30]

3.2 Cálculo de huella de carbono

La huella de carbono generada por las dos UPZ refleja un gran consumo por parte de la población al tener en cuenta que se calculó únicamente con el consumo de energía de los establecimientos comerciales, sin embargo es de resaltar que Ciudad Jardín a pesar de tener un área 1,56 veces más pequeña que San José, posee una huella de carbono con una diferencia de 1,24, más baja que San José, esto quiere decir que Ciudad Jardín con un espacio más pequeño genera una mayor contaminación, ya que en promedio contamina 10,58 Ton CO₂/año-Ha, mientras que San José contamina 8,38 Ton CO₂/año-Ha.

Ciudad Jardín, presenta una mayor tasa de huella de carbono ya que ostenta una gran concentración de establecimientos dedicados a la comercialización de productos textiles en el barrio Policarpa, mientras que San José concentra exclusivamente sus comercios sobre las vías principales que la atraviesan y por tal motivo tiene una distribución más uniforme frente a toda el área de su jurisdicción.

Incluso, al comparar los datos reales de consumo que posee Ciudad Jardín y San José, se encuentra que su comportamiento sigue siendo el mismo, donde Ciudad Jardín, presenta una mayor contaminación por hectárea, con un valor de 17,20 Ton CO₂/año-Ha, mientras que San José, 10,86 Ton CO₂/año-Ha, dando como resultado una diferencia del 36,8%, mientras que la diferencia porcentual entre los dos valores calculados a partir de las encuestas da como resultado 20%. [32].

Por otro lado, se evidencia que con una posible implementación de un sistema fotovoltaico se lograría

disminuir la huella de carbono en gran medida, tal y como se muestra en la tabla 1 para las dos UPZ.

Se evidencia que existe una mayor reducción de la huella de carbono para la UPZ 35, debido a que posee una cantidad considerable de espacio en sus terrazas, y su consumo es mucho menor al consumo de la UPZ 36, ya que la diferencia entre las dos es de aproximadamente 336 Ton CO₂/año, puesto que San José es más amplia que Ciudad Jardín.

Por otro lado, frente a la salidas graficas se logra visualizar una disminución de la huella de carbono principalmente para Ciudad jardín y San José, tanto para la interpolación con IDW como Kriging, con la diferencia de que al transformar la interpolación de tipo Kriging a raster cambia la amplitud de los valores en la escala, ya que esta interpolación utiliza un suavizado para reducir el error en la estimación de los valores, ocasionando que el mapa no represente el valor real de la huella de carbono y por ende los datos finales se vean alterados. [33] (Fig. 6b, 6d).

Por su parte, la interpolación con IDW genera los llamados ojos de buey, en donde se generan punto de concentración o islas las cuales generan patrones poco reales. (Fig. 6a, 6c). Es importante mencionar que IDW y Kriging simple se comportan de manera similar para una serie de datos con una regresión tipo lineal. Kriging proporciona un análisis mejor producido y con un fundamento estadístico, por lo que este método puede ser el más adecuado cuando la magnitud de muestreo es mayor, lo que daría como resultado un aumento de los costos a la hora de realizar una nueva adquisición de datos. Sin embargo, cuando la distancia es muy extensa, el método de interpolación Kriging no logra obtener los variogramas, y por tal motivo pierde validez al compararse con el método IDW [23]. Por lo tanto, la interpolación que se encuentra más allegada al comportamiento de los datos reales termina siendo IDW (inverse distance weighting). (Fig. 6a).

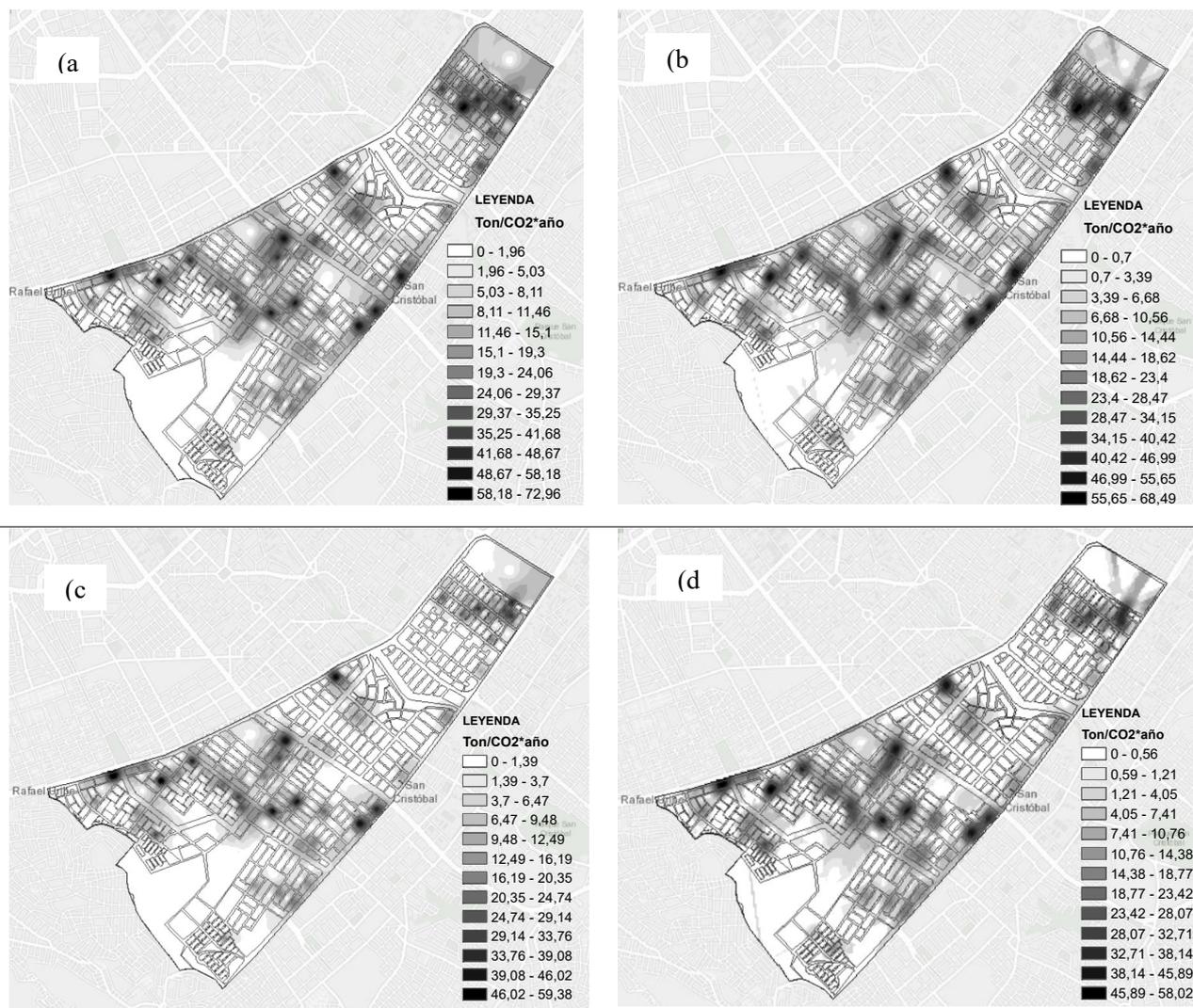


Figura 6. Resultados de la interpolación de huella de carbono actual y proyectada con la implementación de un sistema fotovoltaico para la UPZ 35 y 36 (a) Huella de carbono actual (IDW), (b) Huella de carbono actual (KRIGING), (c) Huella de carbono proyectada (IDW), (d) Huella de carbono proyectada (KRIGING)

Fuente: Los autores

4. Conclusiones

Se determinó que las subestaciones eléctricas reductoras ubicadas en las UPZ 35 y 36, no representan grandes impactos a la comunidad, debido a que la mayoría de los impactos generados por la subestación eléctrica reductora, son de importancia baja.

Ciudad Jardín a pesar de tener un área 1,56 veces más pequeña que San José, posee una huella de carbono con una diferencia de 1,24, más baja que San José, esto quiere decir que Ciudad Jardín con un espacio más pequeño genera una mayor contaminación, ya que en promedio contamina 10,58 Ton CO₂/año-Ha, mientras que San José contamina 8,38 Ton CO₂/año-Ha.

En este trabajo se encontró un gran número de personas que aseguran sufrir de manera frecuente: dolores de cabeza (40

Ciudad jardín y 31 San José), cansancio (43 Ciudad jardín y 46 San José), somnolencia (20 Ciudad jardín y 24 San José). Esto sugiere una relación entre los síntomas y la posible afectación de las subestaciones reductoras en las personas, sin embargo, es importante tener en cuenta que, frente a los tumores y cualquier tipo de cáncer, se registraron cero casos para las dos UPZ, lo que podría descartar estas dos enfermedades como parte de la afectación que llegarían a generar los campos electromagnéticos de baja frecuencia.

Los horarios de atención de los establecimientos encuestados, en su gran mayoría son de 8 a 12 horas (84% Ciudad Jardín y 64% San José), lo que puede causar una serie de problemas en la salud de los trabajadores, como lo han demostrado diversos estudios a nivel mundial, entre los cuales se pueden nombrar: ansiedad, riesgo de obesidad, entre otros sin relación con los datos recogidos a partir de las encuestas,

aunque de igual manera se evidencian enfermedades y síntomas en común como: la depresión, problemas cardiovasculares e insomnio. Es importante resaltar que una alta exposición a estos campos electromagnéticos de baja frecuencia podría llegar a ser una de las causas por las cuales se presentaría alguna de las afectaciones a la salud anteriormente mencionadas.

Los síntomas y enfermedades evidenciadas en ambas UPZ con cantidades de casos muy cercanos (comportamiento agresivo, pérdida progresiva de la audición, altos niveles de estrés, temblores frecuentes, depresión, enrojecimiento de la piel, tos frecuente, náuseas o vómitos, problemas respiratorios, infecciones en las vías respiratorias o pulmonares frecuentes, y presión arterial baja), podrían relacionarse con otros factores, tales como: edad, hábitos, factores ambientales de su entorno, horarios de trabajo extensos, entre otros.

Los entornos de trabajo saludables contribuyen a mejorar los determinantes en salud de la población que trabaja en los establecimientos comerciales, ya que estos buscan que los trabajadores tengan una visión conjunta de la salud y bienestar, proporcionándoles a todos los miembros, fuerza de trabajo, condiciones físicas psicológicas, sociales y organizacionales que protegen y promueven la salud y la seguridad.

El diseño del sistema fotovoltaico logró reducir en un 66,12% y 33,11%, la huella de carbono producida por las UPZ 35: Ciudad Jardín, y UPZ 36: San José, respectivamente, vemos entonces, que existe una mayor reducción para la UPZ 35, debido a que posee una cantidad considerable de espacio en sus terrazas, y su consumo es mucho menor al consumo de la UPZ 36, ya que la diferencia entre las dos es de aproximadamente 336 Ton CO₂/año, debido a que esta UPZ es mucho más grande que Ciudad Jardín.

La interpolación hecha con Kriging proporciona un análisis mejor producido y con un fundamento estadístico, por lo que este método puede ser el más adecuado cuando la magnitud de muestreo es mayor, lo que daría como resultado un aumento de los costos a la hora de realizar una nueva adquisición de datos. Como la distancia entre los puntos de muestreo era muy extensa, el método de interpolación Kriging no logró obtener los variogramas, y por tal motivo perdió validez al suavizar los valores, y al ser comparada con el método IDW. Es por esto que la interpolación que posee un comportamiento de los datos reales termina siendo IDW (inverse distance weighting).

Referencias

- [1] Pandey, D. and Agrawal, M. Carbon footprint: current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178, pp. 135-160, 2011. DOI: 10.1007/s10661-010-1678-y
- [2] Espíndola, C. y Valderrama, J.O., Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas, *Información Tecnológica*, 23(1), pp. 163-176, 2012. DOI: 10.4067/S0718-07642012000100017
- [3] Banco Mundial, Departamento Nacional de Planeación. *Desarrollo bajo en carbono para Colombia* [En línea], Washington D.C., 2014. [Fecha de consulta: 15 octubre 2019]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Desarrollo%20Bajo%20En%20Carbono%20Para%20Colombia.pdf>
- [4] Eraso-Checa, F. y Erazo-de la Cruz, O., SILO.TIPS-Potencial natural para el desarrollo fotovoltaico en Colombia. [En línea]. [Fecha de consulta: 16 octubre 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/35071624/Potencial_Natural_para_el_Desarrollo_Fotovoltaico_en_Colombia
- [5] Electro Huila. Centro de control Electro Huila - Manual de Operación. [En línea]. [Fecha de consulta: 17 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.electrohuila.com.co/otros-servicios/>
- [6] Resolución N° 170. Por la cual se dictan disposiciones con respecto a la comercialización de gas natural para el periodo 2015-2016 y se modifican los numerales 3.1.4 y 3.1.8 del anexo de la Resolución CREG 65 de 2015. Ministerio de Minas y Energía, 13 octubre 2015.
- [7] Resolución N° 1357. Por la cual se decide sobre el comparendo ambiental Número 10886 de 2015. Alcaldía Mayor de Bogotá, 10 de noviembre 2015.
- [8] Resolución No. 18-1294. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE. Ministerio de Minas y Energía, 6 de agosto de 2008.
- [9] Organización Mundial de la Salud. Campos electromagnéticos (CEM). [En línea]. [Fecha de consulta: 27 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/radiation-electromagnetic-fields>
- [10] Enel - Codensa. Niveles de tensión de conexión de cargas de clientes. [En línea]. [Fecha de consulta: 07 Noviembre 2019]. Disponible en: http://likinormas.micodensa.com/Norma/otros/niveles_tension_conexion_cargas_clientes
- [11] Ramírez-Vélez, R., Prieto-Benavides, D.H. Silva-Moreno, C. and Correa-Bautista, J., Self-rated health status and cardiorespiratory fitness in a sample of schoolchildren from Bogotá, Colombia. *The FUPRECOL study, International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(9), art. 952, 2017. DOI: 10.3390/ijerph14090952
- [12] World Health Organization. Promoción de la Salud - Glosario, [En línea]. [Fecha de consulta: 15 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.msccs.gob.es/profesionales/saludPublica/prevPromocion/docs/glosario.pdf>
- [13] Blanco-Becerra, L.C., Alvarez-Berrio, J.A. y Jaramillo-Londoño, A.M., Evaluación de riesgo toxicológico por exposición a cadmio y plomo asociados a bioaerosoles y material particulado en el casco urbano del municipio de nobsa (Boyacá) - Metodología - Universidad Santo Tomas. Conversación personal con Mayemis Sánchez, Septiembre 2019.
- [14] Martínez, C., *Estadística y muestreo*, 13ª ed., ECOE Ediciones, Bogotá D.C., 2012, 687 P.
- [15] Martínez-Vaca, W.L., *Estadística descriptiva con énfasis en salud pública*, 1ª ed, La Hoguera Ed., Bolivia, 2003, 72 P.
- [16] Ley N° 142. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. El Congreso de Colombia., 11 de julio de 1994.
- [17] Empresa de Energía Eléctica. ENERGUAVIARE - Calcule el consumo de sus electrodomésticos. [En línea]. [Fecha de consulta: 20 Noviembre 2019]. Disponible en: <http://www.energuaviare.com/calculer-el-consumo-de-sus-electrodomesticos>
- [18] CIME, Soluciones integrales para generación y ahorro de energía - Tablas de consumo eléctrico. [En línea]. [Fecha de consulta: 20 Noviembre]. Disponible en: http://cimepowersystems.com.mx/descargas/Tablas_Consumo-Electrico.pdf
- [19] Enel - Codensa. ENEL - Simulador de consumo. [En línea]. [Fecha de consulta: 20 Noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.enel.com.co/es/personas/servicio-al-cliente.html>
- [20] Resolución N° 0642. Por la cual se actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional - 2018, para proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL. Unidad de Planeación Minero Energética, 27 de diciembre de 2019.
- [21] Gómez, A.M.M., Reyes, A.F.N., Salazar, L.H.C. and Bernal, E., Topological alternatives for photovoltaic integration in rural areas. *Visión electrónica*, 13(1), pp. 24-32, 2019. DOI: 10.14483/22484728.14423
- [22] IDECA. Ideca [En línea]. [Fecha de consulta: Noviembre 27 2019]. Disponible en: https://www.ideca.gov.co/buscador?topic=11&metadata=All&newest=All&entity=All&resource=All&content_type=All
- [23] Villatoro, M., Henríquez C. y Sancho, F., Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, Cice y P del suelo, *Agronomía Costarricense*, 32(1), pp. 95-105, 2008.
- [24] El Ecologista [en línea]. 46, pp. 1-6, Murcia, 2005. [fecha de consulta 25 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://issuu.com/ecologista-senaccion/docs/ee46>

- [25] Reino-Piñero, H. y Fernández, I., Revisión bibliográfica. Accidentes eléctricos en veterinaria: la razón de su importancia. Facultad de Veterinaria, Universidad de Santiago de Compostela, España, 2017.
- [26] Juárez-Cervantes, J.D., Sistemas de distribución de energía eléctrica, 1^{ra} ed, Sans Serif Eds., Azcapotzalco, México DF, 2000, pp. 11-18.
- [27] Cruz, V.M., Riesgo para la salud por radiaciones no ionizantes, La Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, en: Simposio Salud Ambiental, Lima, Perú, 2009, pp. 94-103.
- [28] International Agency for Research on Cancer - IARC, Non-ionizing radiation, Part 1: static and Extremely Low-Frequency (ELF) electric and magnetic fields, en: IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 80. [En línea]. Revisión sistemática, Lyon. 2002. [consulta, 28 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono80-1.pdf>
- [29] Castro, R y Perez, R., Saneamiento rural y salud - Guía para acciones a nivel local. [En línea]. Revisión Sistemática, Guatemala, 2009 [consulta, 28 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2010/Sanemiento-Con-Pro-Intro.pdf>
- [30] Organización Mundial de la Salud. Entornos laborales saludables: fundamentos y modelo de la OMS, [En línea]. Revisión sistemática, Ginebra, Suiza, 2010. [Fecha de consulta: 10 enero 2020]. Disponible en: https://www.who.int/occupational_health/evelyn_hwp_spanish.pdf
- [31] Organización Mundial de la Salud. ¿Qué es la promoción de la salud?. [En línea]. [Fecha de consulta: 11 enero 2020]. Disponible en: <https://www.who.int/features/qa/health-promotion/es/>
- [32] Enel - Codensa, Base de datos con consumos de energía para el sector comercial de los barrios ubicados en la UPZ 35 y 36, [Respuesta a radicado], Bogota, Febrero 2020.
- [33] Moreno-Jiménez, A., Buzai, G.D. y Fuensalida-Díaz, M., Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones en diagnósticos territoriales y decisiones geoambientales, 2^{da} ed. RA MA, Madrid, 2017, pp. 127-132.
- M. Sánchez-Martínez**, es Ing. Ambiental y Sanitaria graduada de la Universidad de La Salle, Colombia en 2020. Además, ha realizado cursos de corta duración en Sistemas de Información Geográfica de ArcGis Desktop en 2019.
ORCID: 0000-0002-2162-5750
- C.A. Vargas-Terranova**, realizó un MSc. en Geología Ambiental y Recursos Geológicos en la Universidad Complutense de Madrid, España, en 2013. Actualmente se encuentra estudiando un doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia - Internacional y trabajando como profesor asociado en la Universidad de la Salle en el Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Sus líneas de investigación son: gestión de residuos convencionales y especiales; recursos hídricos superficiales y subterráneos; y recursos geológicos e ingeniería ambiental y sanitaria.
ORCID: 0000-0002-1926-7026