

La geoinformación como estrategia de gestión para el tratamiento de los RAEE en Colombia

Mayerling Sanabria Buitrago¹  

David Alexis Solano Cortes²  

Beatriz Elena Ortiz Gutiérrez³  

Alejandro Parra Saad⁴  

Recibido: 05 de diciembre de 2023 - Aceptado: 19 de diciembre de 2023 - Actualizado: 06 de noviembre de 2024

DOI: 10.17151/luaz.2023.57.7

Resumen

La generación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) es tal vez uno de los riesgos medioambientales más grandes que enfrenta la humanidad actualmente. Según el *United Nations Institute for Training and Research - UNITAR*, se estima que para 2050 la generación mundial de desechos electrónicos será de 110 millones de toneladas. La tendencia en Colombia no es diferente, porque la creciente oferta de productos y servicios tecnológicos alimenta el deseo de estar a la vanguardia, desechando aparatos funcionales y en buen estado; aportando así al aumento progresivo de estos residuos. En términos legislativos, Colombia cuenta con avances importantes frente al tema de RAEE comparado con la región; sin embargo, su aplicación, seguimiento y control son débiles (Guavita, 2022), posiblemente por la falta de herramientas prácticas y abiertas que permitan la conectividad directa de los diferentes actores (productores, gestores, transformadores, legisladores). El propósito de este artículo es visibilizar una estrategia de divulgación y tratamiento de los datos asociados al Sistema de Gestión implementado por el Grupo Retorna y EcoCómputo, con el apoyo técnico de la Universidad de La Salle. Esta apuesta sistemática para el análisis de los RAEE aporta a la promoción de la cultura de la separación de materiales para el posconsumo. El proceso parte de la compilación, estructuración y análisis espacial de los puntos ecológicos de recolección selectiva de EcoCómputo instalados a nivel nacional. Posteriormente, se ejecutaron modelos de correlación espacial para analizar patrones de producción, con estrategias de educación ambiental. Se generaron mapas de tendencia espacial y se desarrolló un visor geográfico de acceso público que permite el análisis directo de la información a todos los actores de la cadena para cooperar con los lineamientos y requisitos de los sistemas de recolección y gestión de los RAEE para el país.

Palabras claves: residuos aprovechables, SIG, residuos peligrosos, aprovechamiento de residuos.

Geospatial Data as a Strategy for Monitoring E-Waste in Colombia

Abstract

The generation of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) is perhaps one of the biggest environmental risks facing humanity today. According to the United Nations Institute for Training and Research - UNITAR, it is estimated that by 2050 the global generation of electronic waste will be 110 million tons. The trend in Colombia isn't different, since the growing supply of technological products and services fuels the desire to be at the forefront, discarding functional devices in good condition; thus, contributing to the progressive increase of this waste. In legislative terms, Colombia has made important progress on the issue of E-Waste compared to the region; However, its application, monitoring and control are weak (Guavita, 2022), possibly due to the lack of practical and open tools that allow direct connectivity of the different actors (producers, managers, transformers, legislators). The purpose of this article is to make visible a strategy for the dissemination and processing of data associated with the Management System implemented by the Grupo Retorna and EcoCómputo, with the technical support of the University of La Salle. This systematic commitment to the analysis of WEEE contributes to the promotion of the culture of separation of materials for post-consumer use. The process is based on the compilation, structuring and spatial analysis of the EcoCómputo ecological selective collection points installed nationwide. Subsequently, spatial correlation models were executed to analyze production trends, with environmental education strategies. Spatial trend maps were generated and a publicly accessible geographic viewer was developed that allows direct analysis of information to all actors in the chain to cooperate with the guidelines and requirements of the WEEE collection and management systems for the country.

Key words: usable waste, GIS, hazardous waste.

Introducción

En los últimos años, el volumen de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) viene en aumento a nivel mundial más que cualquier otro desecho. El desarrollo de sociedades más tecnificadas ha hecho que el consumo, y de paso la producción de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, sea un hecho en constante crecimiento. Para el año 2015, solo China reportó 6.681.000 toneladas de RAEE, siendo el primer país en el sureste asiático, seguido de Japón con 2.232.000 toneladas (Rahmanda et al., 2023). Por su parte, las Naciones Unidas en 2019, estimaron que la producción per cápita estaba por el orden de 7,3 kg por habitante para 53,6 millones de toneladas de los desechos electrónicos que se generaron a nivel mundial (Baldé et al., 2022). De esta cifra, solo alrededor de 10 millones de toneladas son reportadas como debidamente tratadas, y cerca de 40 millones de toneladas se entierran o se queman (Forti et al., 2020).

El panorama a futuro no es alentador porque el volumen de desechos electrónicos está creciendo a una tasa entre 3 a 4% al año, lo que significa que para 2030 se generarán aproximadamente 75 millones de toneladas de residuos electrónicos (Ministerio de Medio Ambiente, 2023). Esta situación agrava sustancialmente la destinación final inadecuada que predomina actualmente, pese a que dichos residuos contienen materiales con gran potencial económico, que podrían retornar

nuevamente a la cadena de producción o podrían ser generadores de nuevos empleos o emprendimientos.

El avance tecnológico y el aumento de la población, ligado a una cultura de consumo, aportan significativamente a las cifras anteriores. Por otro lado, al remplazo de elementos tecnológicos por expiración de su vida útil, hay que sumarle también la creciente oferta de productos y servicios que, bajo sistemas efectivos de marketing, alimentan una sociedad que desea estar actualizada, desechando aparatos funcionales y en buen estado, por la aspiración de tener un producto renovado. Según Giraldo (2017), los sistemas de producción y los modelos económicos actuales han llevado a que se reconozca a las sociedades por su capacidad de consumo y poder adquisitivo (p. 180). Esto concuerda con lo presentado por la CEPAL, que estima que la producción de RAEE en América Latina y el Caribe se liga directamente al incremento en el nivel de ingresos de la región, reportando un aumento de más del 150% entre 2000 y 2019 (CEPAL, 2021).

La tendencia en Colombia no es diferente, lo que hoy es novedad en poco tiempo deja de serlo, aportando al aumento progresivo de este tipo de residuos (Forti et al., 2020). Según las proyecciones del *Programa Seco/Empa sobre la Gestión de RAEE en América Latina*, solamente en el tema de computadores, el monto total de generación de residuos al año 2020 alcanzaría cifras entre las 40 y 45 mil toneladas al año (León J, 2010). En la [Figura 1](#). Se presenta la proyección realizada de la composición de los residuos generados por computadores en Colombia en el año 2010.

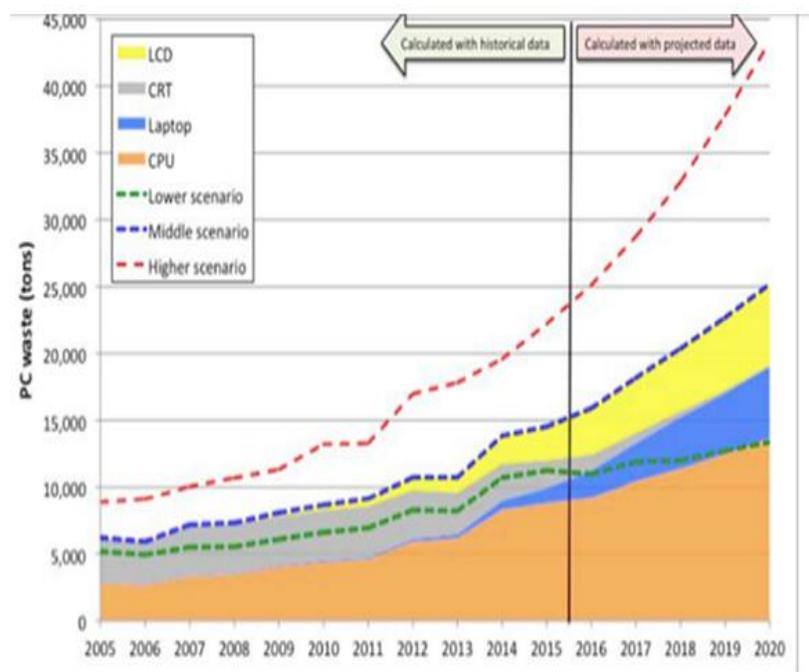


Figura 1. Composición estimada de la generación de residuos de computadores en Colombia.

Fuente: León J, (2010).

Por otro lado, los datos reportados por el Boletín Técnico del DANE (2019), presentaban que, en 89.522 hogares, el 41,6% poseían un computador. Es innegable que el consumo de tecnología incrementará la producción de RAEE a futuro. Este crecimiento sostenido hace pensar en la necesidad de fortalecer permanentemente estrategias de seguimiento, control y regulación de los sistemas de gestión de RAEE sobre todo a nivel regional y local.

Frente a este tema, Colombia ha sido el primer país en Latinoamérica en formular una política para gestión de residuos electrónicos (Word Resources Forum, 2017). El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presentó en 2017 la Política de residuos electrónicos, donde establece la estrategia que implementará en los próximos 15 años para la gestión integral de este tipo de residuos. Un ejemplo del cálculo de las cifras, son los pronósticos reportados en el capítulo “Diagnóstico de la Política Nacional de RAEE 2017”, el cual proyecta una tasa de crecimiento de este tipo de residuos del 4 al 5%, estimándose así 49,8 millones de toneladas para 2018 (MADS, 2017, p. 52).

Tanto en la política como en los diferentes informes del Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos y el WEEE Forum (*International Association of Electronic Waste Producer Responsibility Organizations*), se destaca la necesidad de mejorar la disponibilidad de información y de contar con estrategias de actualización periódica en los sistemas de gestión y recolección de este tipo de residuos, aprovechando las nuevas tecnologías de la información pues en tiempos de innovación tecnológica los datos digitalizados son un elemento clave para la toma de decisiones más oportunas y efectivas.

En este sentido, la tecnología de geodatos se consolida como una estrategia para el análisis de información en diferentes áreas del conocimiento, donde se integra en una misma ventana de computador la representación de aquellos datos que requieren ser comparados para tomar decisiones acertadas.

Es así que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia analizando esta oportuna necesidad expidió la Resolución 851 de 2022 (MADS, 2022) que promueve una evaluación multicriterio como estrategia de cualificación de los sistemas de recolección y gestión, donde la cobertura geográfica es uno de los pilares fundamentales de análisis para orientar la toma de decisiones. En la [Figura 2](#) se presentan los respectivos de los indicadores establecidos en la referida evaluación multicriterio.

Indicador	Unidad	Rango	Cálculo	Puntaje máximo	Valor puntaje máximo	Asignación
Recolección y gestión (IRG)	%	[0,∞]	Masa/Masa	60	100% de la meta	Proporcional
Información y sensibilización a los consumidores (IISEC)	%	[0,100]	\$/\$/	10	≥10%	Proporcional
Cobertura geográfica (ICG)	%	[0,100]	[Área/Área]	20	100% de la meta	Todo o nada
Investigación aplicada y desarrollo experimental en el aprovechamiento de residuos (IIA)	%	[0,100]	\$/\$/	5	≥5%	Proporcional
Fomento a la economía (IFEC)	%	[0,100]	Peso (Kg)/Peso (Kg)	5	≥20%	Proporcional
Puntaje total				100		
Puntaje para aprobar el seguimiento				75		

Figura 2. Estrategia de Evaluación de los Sistemas de Recolección y Gestión de los RAEE establecida en la Resolución 851 de 2022.

Fuente: Congreso internacional de RAEE, Colombia, 2023 - adaptado por los autores.

Frente a esta Resolución, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales de Colombia (ANLA), incorpora a su portal de información la capa geográfica de gestores posconsumo de RAEE. Actualmente, las organizaciones reportadas en dicha capa de información deben gestionar una licencia ambiental para garantizar su operación ya sea para disposición, tratamiento o comercialización de este tipo de residuos.

Sin embargo, al crearse la necesidad de reportar como indicador una cobertura geográfica de la recolección y gestión de los RAEE (Resolución 851 de 2022), y teniendo en cuenta la influencia que tiene la sensibilización a los consumidores y productores de este tipo de residuos, la Universidad de La Salle y el Grupo Retorna quisieron aportar, como aliados estratégicos de la autoridad ambiental competente, diseñando la primera aplicación georreferenciada de los puntos fijos de colecta de computadores y sus periféricos, adelantada por la corporación EcoCómputo, y así compararla con las campañas de educación y sensibilización adelantadas por la asociación Grupo Retorna. Con dicha representación espacial, se generó un visor geográfico (dashboard) en la plataforma ArcGIS Online[®] que permite consultar no solamente la distribución de los puntos de colecta de computadores y sus periféricos instalados en el territorio colombiano, sino que también permite generar consultas online que el mismo usuario determina a través de filtros en ventanas interactivas de mapas y gráficas de tendencia, haciendo la experiencia de consulta mucho más dinámica e interoperable para el usuario y con la facilidad de actualización periódica. Este tablero de control ha sido vinculado como un geovisor al portal del Observatorio de Economía Circular de la Universidad de La Salle para la consulta pública⁵, y así impulsar alianzas colaborativas que transformen información en conocimiento útil, especialmente en la promoción de programas posconsumo.

La puesta en operación de esta herramienta garantiza una depuración y estructuración de la información previamente compilada, de manera que es posible acreditar la calidad de la base de datos que respalda todas las visualizaciones que se generen en línea. Además de permitir la comparación a través de *links* de enlace con los demás sistemas de información nacional como la capa de puntos de los gestores posconsumo que maneja la ANLA. Con este modelo de visualización de datos fue posible analizar patrones de generación de residuos con las estrategias de sensibilización y campañas de educación ambiental implementadas por el Grupo Retorna. Con esta información centralizada fue directa la observación de tendencias de producción que favorecerán, a largo plazo, la promoción de economías circulares para la transformación, comercialización y aprovechamiento máximo de este tipo de residuos.

Materiales y métodos

Este proyecto tiene en cuenta la estructura metodológica planteada por Valbuena e Ibarra-Vega (2018) y Casas-Merchán y Toro-Calderón (2020) en sus respectivas investigaciones, adaptando el método en la fase de manejo y depuración de los datos para esta investigación.

Se plantean como fases estructurantes: 1) La compilación de la información en bases de datos de diversas fuentes, 2) La estructuración de la información a formatos geográficos, 3) El geoprocusamiento de datos orientados a la identificación de correlaciones espaciales, 4) El análisis espacial bajo modelos de índice de Moran, y 5) El diseño e implementación de ventanas de visualización a través de un tablero de control diseñado en la aplicación ArcGIS Online[®].

La referida metodología se resume en la [Figura 3](#).

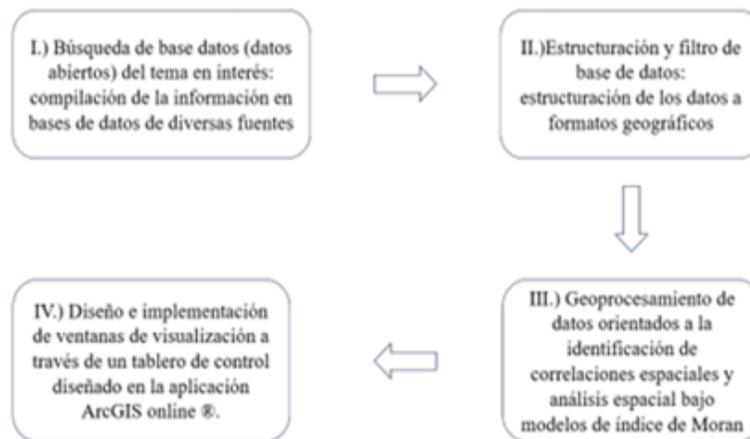


Figura 3. Metodología de la investigación.

Fuente: los autores.

1) Compilación de la información

Parte de la información del proyecto fue colectada de la página de datos abiertos de la ANLA. Los datos obtenidos de este portal se encuentran en su mayoría agrupados en gestores de bases de datos debido a la cantidad de información que se encuentra registrada. Se organizaron y descargaron los archivos de residuos posconsumo que compilan información de 2020, la cual provee alrededor de 9.549 registros que representan los puntos de disposición y la categorización de los residuos colectados, por ejemplo: pilas, medicamentos, llantas, aparatos electrónicos, bombillas, entre otros.

En cuanto a los datos de procesos de educación ambiental y a los puntos de colecta de computadores y sus periféricos, estos fueron suministrados por el Grupo Retorna bajo el convenio marco realizado con la Universidad de La Salle. Estas matrices de datos, al ser diligenciadas por diversos operadores en campo, fue necesario estandarizarlas para garantizar que la información reportada cumpliera con los estándares de calidad frente a contenido y georreferenciación. Para dicho proceso, se siguió el siguiente flujo de proceso ([Figura 4](#)).

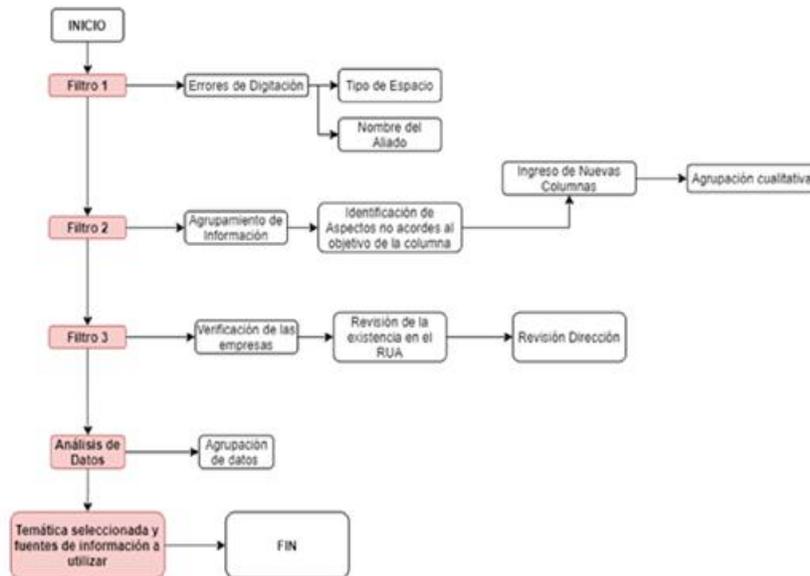


Figura 4. Flujograma de proceso para la depuración de la información compilada en bases de datos Excel.

Fuente: los autores.

2) Estructuración y geoprocesamiento de los datos

El proceso de conversión de base de datos a archivos geográficos se realizó partiendo de las herramientas disponibles en el programa ArcGIS Pro[®] para geocodificar una tabla de direcciones usando la herramienta *Geocoding Service*. Para aplicar este geoproceso, previamente fue necesario estandarizar los descriptores de dirección y localización compilados por el Grupo Retorna. Con los ajustes requeridos a las bases de datos, se establecieron capas de información geográfica en formato punto, las cuales fueron categorizadas por año para ser agregadas en una *geodatabase*.

Una vez se organizaron los datos en capas, se diseñó un proyecto cartográfico en plataforma ArcGIS Pro[®] que permite la superposición de la información para evaluar la distribución espacial. Para ello, fue necesario abordar procesamientos de geoestadística, los cuales, bajo funciones de probabilidad, permitieron confirmar la dependencia espacial de los datos comparados.

Inicialmente se generaron los respectivos análisis exploratorios como: análisis descriptivos de media, mediana, análisis de dispersión de la curva del histograma frente a la tendencia central bajo el cálculo de varianzas y desviaciones estándar y el cálculo del índice de curtosis, entre otros.

Una vez verificado qué tan dispersos son los datos frente a los reportes de tendencia central, fue posible determinar el modelo geoestadístico de dispersión implementado para cada capa.

3) Análisis espacial bajo modelos de índice de Moran

Para analizar el patrón espacial presente entre los datos, se implementó el geoproceso de *Autocorrelación Espacial* que tiene como fundamento matemático el índice de Moran. Porque, al utilizar datos geo referenciados, surge la necesidad de identificar si se presenta algún tipo de dependencia espacial entre ellos. Considerar el espacio físico como elemento estructural en el análisis de cualquier variable es fundamental si dicha variable está georreferenciada. Esta dependencia se denomina autocorrelación espacial (Acevedo y Velásquez, 2008). El referido índice de Moran (I) se calcula así:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} W_{ij}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2}$$

ecuación (1)

Donde n es el número de registros de la muestra; \bar{x} la media de la variable en estudio, X_j y X_i el valor de la variable en una localización específica y W_{ij} representa la matriz de área que determinará si i y j tienen alguna relación de vecindad o no.

Este índice al igual que el de Pearson requiere una prueba de significancia estadística que se calcula a través del Z y P value que determinan la significancia del área bajo la curva de una distribución de valores conocidos.

Por tanto, su interpretación y cálculo es similar al coeficiente de correlación de Pearson, porque sus valores varían entre 1 y -1. Donde 1 y sus valores próximos se interpretan como una autocorrelación positiva (los datos tienen una tendencia de conformar conglomerados o clústeres, es decir, hay agrupaciones naturales en zonas uniformes). Los valores tendientes al -1 representan una autocorrelación negativa, es decir, los datos tienden a ser dispersos, no se hace evidente un comportamiento de los datos aglomerado o definido y, finalmente, cuando el cálculo del índice de Moran (I) es cero, significa un patrón espacial totalmente aleatorio, es decir, la presencia del atributo evaluado no se encuentra relacionada con los valores vecinos de la matriz (Vilalta, 2005). En la [Figura 5](#) se presentan los referidos patrones del índice de Moran.



Figura 5. Patrones espaciales según el tipo de autocorrelación espacial.

Fuente: tomado de Manuel Fuenzalida, Depto. de Geografía, Universidad Alberto Hurtado, Chile.

4) Diseño e implementación de dashboard en ArcGIS Online®

El desarrollo del tablero de control (*dashboard*) está relacionado principalmente con la implementación y vinculación de un mapa web que relaciona las capas de información tipo punto que se agregaron en el *formato geodatabase* mencionado anteriormente.

Una de las fases iniciales en el desarrollo de un *dashboard* es la configuración y creación de la interfaz de usuario. En esta etapa, es fundamental establecer criterios para la relación entre los datos geográficos, ya que esto determina el tipo de visualización de la información. Una vez definidos estos criterios, se establecen las relaciones entre las variables, las cuales se representan a través de gráficos de tendencias, filtros e indicadores. Considerando la información integrada para este proyecto y el tipo de relaciones establecidas, se definieron cuatro ventanas de consulta, cada una con los siguientes componentes asociados:

- Mapa interactivo de departamento y concentración de puntos.
- Puntos de recolección promedio por año.
- Gráfica de barras de peso de contenedores promedio por año.
- Cantidad de puntos por departamento.

Resultados

1) Compilación de la información

Como resultado de los puntos de recolección y centros de acopio de residuos posconsumo reportados en tablas desde el portal de datos abiertos de la ANLA, se puede apreciar una distribución nacional sobre todo en la zona andina. Con predominio en las principales ciudades del país ([Figura 6](#)). Estos gestores son los que hasta noviembre de 2023 se han inscrito dentro de los planes de devolución posconsumo a julio de 2023.

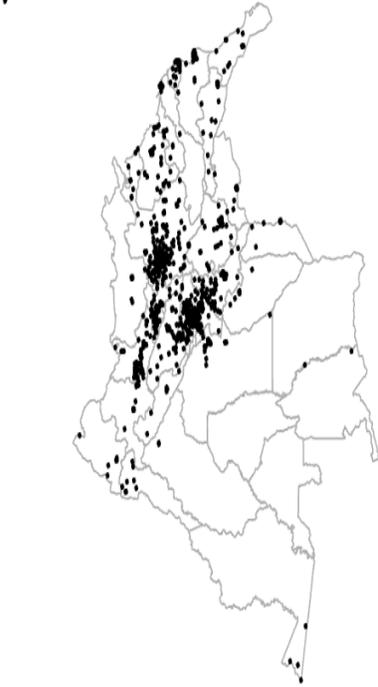
Distribución espacial	Ciudad	No. de gestores registrados
	Bogotá D.C.	2.550
	Medellín	1.317
	Cali	624
	Barranquilla	434
	Municipios de Cundinamarca	389
	Pereira	266
	Bucaramanga	186
	Montería	138
	Bello	133
	Manizales	133
	Rionegro	99
	Envigado	96
	Ibagué	94
	Villavicencio	90
	Cartagena	87
	Itagüí	83
Armenia	82	
Pasto	58	

Figura 6. Distribución espacial nacional de residuos posconsumo.

Fuente: los autores.

En la depuración y revisión de la base de datos de *Educación Ambiental* proporcionada por el Grupo Retorna, se estandarizaron 755 registros de los 1.032 revisados en la base de datos inicial, lo que equivale al 73,2%. Los 277 registros que no fueron georreferenciados presentaban las siguientes condiciones ([Tabla 1](#)):

Tabla 1. Tipología de los registros que no pudieron ser georreferenciados

Clasificación	Porcentaje	Descripción
Información insuficiente	7%	No existe información de la empresa o institución que reporta proceso de educación ambiental.
Más de un establecimiento	2%	Se encuentra duplicidad en los datos reportados por la misma empresa, con diferente información.
Nombre incorrecto	31%	Empresas o instituciones cuyo nombre no se hallaba registrado en los motores de búsqueda consultados, sin embargo, existen denominaciones similares que hacen pensar que existe un error de digitación.
Otra forma de representación	7%	El nombre del aliado no es específicamente un punto que puede referenciarse espacialmente; a pesar de ello, para otros análisis podrían visualizarse como polígonos o polilíneas.
Sin descriptor	4%	Registros en la tabla que no poseen un nombre específico, pueden significar un objeto, un barrio o simplemente hay una letra, por lo cual no es posible identificar su localización.
Ubicación inexacta	49%	Registros que pueden ser georreferenciados en más de un punto en el mapa, de modo que se requiere mayor exactitud en el nombre del aliado o incluso el tipo de establecimiento descrito.

Fuente: los autores.

En la [Figura 7](#) se presenta la distribución por año de las 1.034 capacitaciones y procesos de educación ambiental desarrollados por el Grupo Retorna a lo largo del país desde 2018 a 2021.

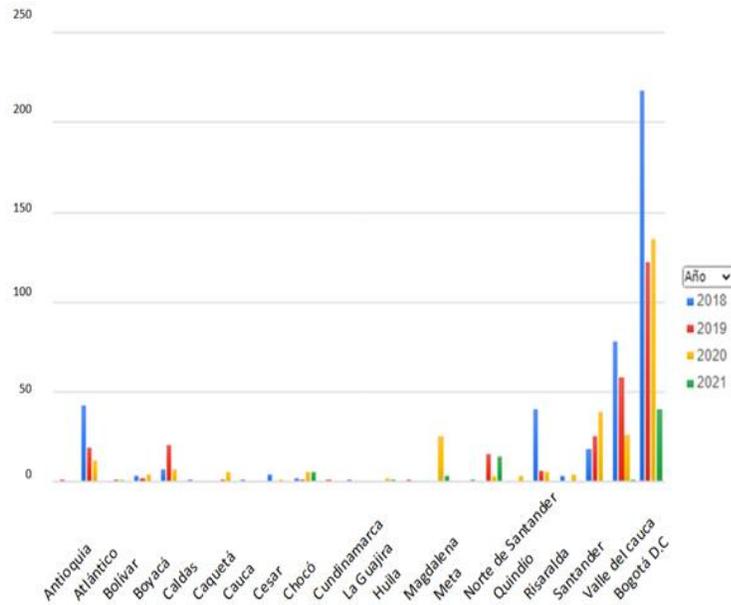


Figura 7. Procesos anuales de educación ambiental por departamento - Grupo Retorna.

Fuente: Corporación EcoCómputo. (2022) Alianzas para la educación. En Informe de Sostenibilidad - adaptado por los autores.

Respecto a los contenedores para la disposición de computadores y sus periféricos instalados por EcoCómputo, de los 4.951 registros en la tabla inicial, se georreferenciaron 4.853, eliminando un total de 98 puntos, debido a que atributos tales como direcciones o coordenadas se encontraban vacíos o incompletos.

2) Estructuración y geoprocesamiento de los datos

Teniendo en cuenta que la georreferenciación de los puntos efectivos pudo clasificarse por año, la [Figura 8](#) representa la tendencia de aumento tanto para los procesos de educación ambiental como para la instalación de contenedores para computadores y sus periféricos.

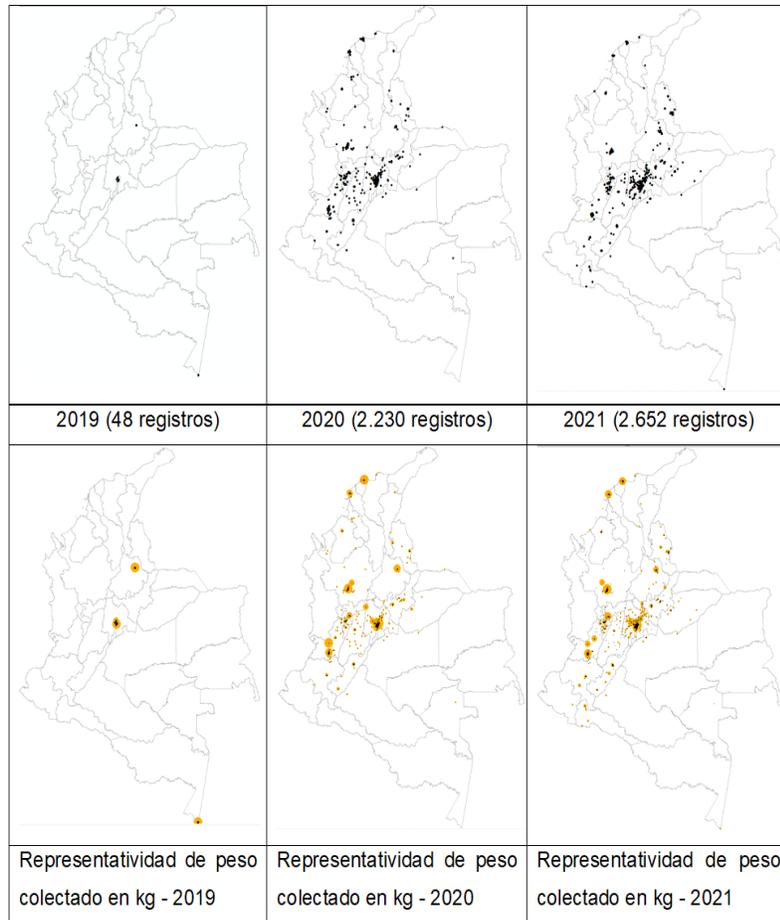


Figura 8. Número de puntos de recolección de computadores y sus periféricos por año.

Fuente: los autores.

Por otro lado, consultando las bases de datos de la ANLA, cuatro de los siete programas posconsumo están relacionados con el manejo los RAEE: los programas son: Programa de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de computadores y periféricos, Programa de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas, Programa de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de pilas y acumuladores, Programa de gestión de la devolución de productos posconsumo de baterías usadas de plomo ácido. La [Figura 9](#) presenta la distribución específica de la ANLA frente a computadores y sus periféricos para el año 2020.



Figura 9. Mapa de puntos de recolección posconsumo de periféricos de computadores por la ANLA para 2020 (326 registros).

Fuente: Los autores.

Como se puede apreciar en los mapas anteriores, la representatividad de la iniciativa ambiental como programa posconsumo viene fortaleciéndose en el país con el firme propósito de facilitar la compilación de los aparatos que han cumplido su ciclo de vida, promoviendo la conciencia ambiental y la economía circular de materiales de importante valor comercial. Al consolidar el total de capacitaciones realizadas en el país por año, se observa en la [Figura 10](#) que la mayoría de los eventos de capacitación se concentran en las principales ciudades capitales.

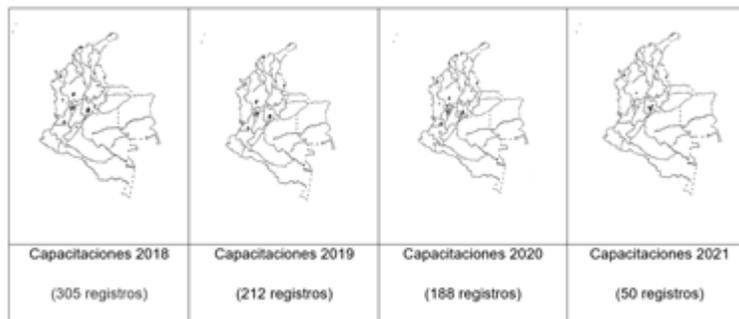


Figura 10. Número de capacitaciones anuales.

Fuente: los autores.

En cifras, la educación ambiental de disposición de RAEE en Colombia se refleja de la siguiente manera ([Tabla 2](#)):

Tabla 2. Porcentaje de tipos de capacitación 2018-2021

Año	Tipo de capacitación				
	Capacitación	Reunión	Webinar	Empresas	Otros
2018	82%	15,4%	2,6%	0%	0%
2019	93,9%	5,7%	0%	0%	0,5%
2020	85,6%	1%	13,6%	0%	0%
2021	12%	66%	14%	4%	4%

Fuente: los autores.

La categoría “otros” refleja procesos de educación ambiental tales como conferencias, actas, conversatorios, eventos fortuitos.

Particularmente para el año 2020, bajo la estrategia de educación y alianzas del Grupo Retorna, se desarrollaron acciones pedagógicas diferenciadas. Reportando espacios de aprendizaje en 28 colegios, 111 empresas, 15 puntos locales, 24 ferias y eventos, 42 centros comerciales, entre otros. Estas acciones de educación se ejecutaron en 33 centros urbanos de 6 departamentos del país; sensibilizando un total de 4.129 personas directamente y 48.898 indirectamente.

Aunque esta participación que se registra es poca frente a una escala nacional, la participación de los sectores involucrados en la separación de los RAEE viene en aumento. Por tanto, se hace necesario consolidar una cultura de la separación de residuos a través de campañas periódicas para que las personas conozcan las alternativas que tienen al final del ciclo de vida de sus aparatos eléctricos y electrónicos.

3) Análisis espacial bajo modelos de índice de Moran

Para la definición de las relaciones entre las capas creadas en un visor geográfico público, fue necesario confirmar las correlaciones entre los datos. Para ello, se calcularon los respectivos “índice de Moran” que, según la distribución que se presenta a continuación ([Figura 11](#)), confirmaron la autocorrelación espacial de cada variable.

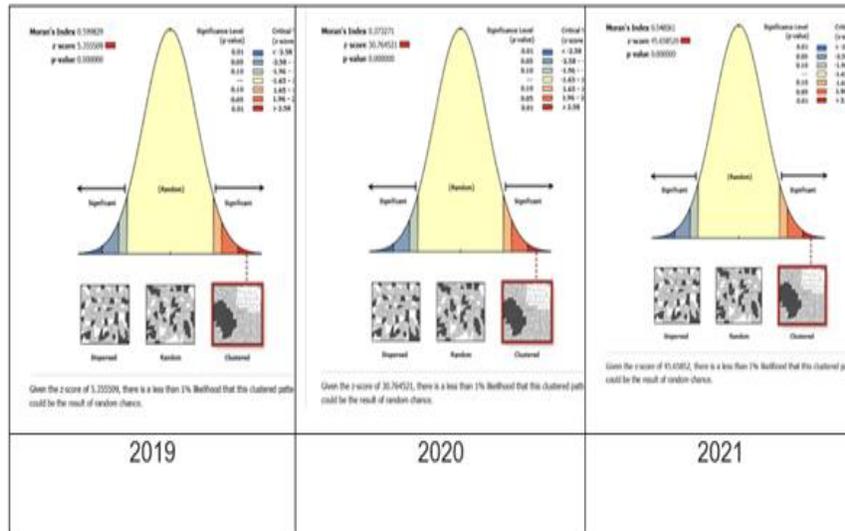


Figura 11. Índice de Moran para la capa de contenedores de EcoCómputo.

Fuente: los autores.

Tal y como se indica en las gráficas anteriores, para cada uno de los años el resultado manifiesta un z-score alto y un p-value de 0, lo que ratifica que menos del 1% de los datos podrían tener un comportamiento aleatorio, es decir, la probabilidad de que los puntos se ubiquen de forma fortuita es nula; por tanto, siguen un patrón de distribución agregado, para todos los años.

4) Diseño e implementación de dashboard en ArcGIS Online®

Una vez confirmadas las correlaciones entre los datos geográficos construidos con la información tanto del Grupo Retorna como de la ANLA, se diseñó el siguiente Tablero de control, el cual puede consultarse en enlace que aparece en la [Figura 12](#).

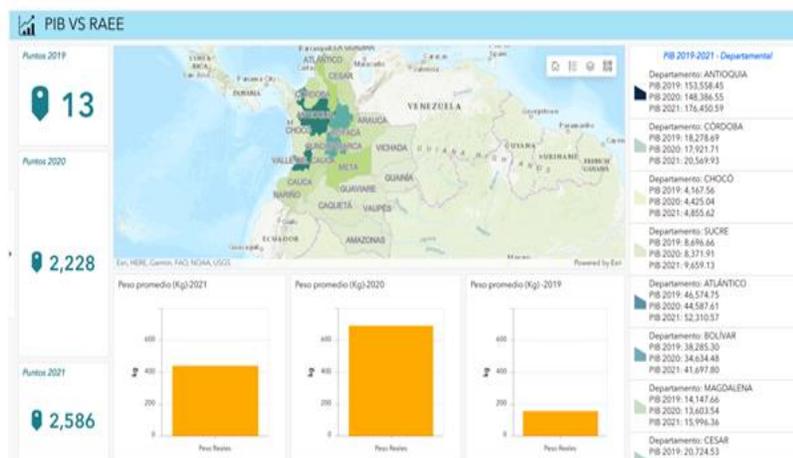


Figura 12. Dashboard RAEE vs PIB.

Nota. Enlace para consultar los datos generados en este proyecto: <https://arcg.is/OLWSTC>

Fuente: los autores.

Con una capacidad operativa de 1.542 ton/mes máximo mensual y de almacenamiento de 2.006 ton/mes reportada para el año 2020, se puede apreciar el incremento de la cobertura de gestores según el informe de sostenibilidad reportado por la corporación EcoCómputo en marzo de 2021. Por otro lado, el seguimiento en los servicios asociados a la recolección que se realizan con los gestores RAEE es más eficiente de evaluar, porque es posible el seguimiento a la ejecución de las solicitudes recibidas. Pues para el año 2020 se presentó una reducción de los costos en logística de un 24% respecto a 2019 en 24 departamentos y 170 municipios del país donde se reportan actividades recolección.

Con herramientas tecnológicas de georreferenciación como estas, el seguimiento a los gestores RAEE y los contenedores que han sido asignados se hace más ágil, facilitando la verificación de cargas a recolectar y los posibles mantenimientos que se puedan presentar, además de sumar como apoyo continuo en la conexión y comunicación entre diversas campañas de recolección *in situ* por parte de las entidades que realizan dichas jornadas. Con el geovisor ha sido posible implementar estrategias de difusión más unificadas, de esta manera, se ha ampliado el número de personas que conocen estos programas de separación y recolección y que se unen con su participación activa.

Por otro lado, se agilizaron las acciones anunciadas en la Estrategia Nacional de Economía Circular, en el sentido de facilitar la articulación entre las diferentes entidades con la promoción de información estadística relacionada con el sector, contribuyendo así a compensar los vacíos de información en los que se encontraba el sector. La consolidación de las estrategias de seguimiento y monitoreo bajo el uso de visores geográficos como este, facilitará a futuro la conformación de equipos que aborden el ecodiseño, la innovación y reutilización de materias primas inclusive en otras cadenas de producción, lo que promoverá la investigación, la reducción de costos de producción y la protección del medio ambiente.

Discusión

En implementaciones como los geodatos para la toma de decisiones, se confirma que el desarrollo tecnológico actual brinda la posibilidad, a cualquier ciudadano, de tener acceso a una gran variedad de contenidos y canales de comunicación para mantenerse informado y tomar decisiones. Es una gran oportunidad para ratificar el valioso complemento de la georreferenciación para entender más rápidamente dónde pasan las cosas y por qué (Olivencia y Sanchez, 2006). En este sentido, los entornos tecnológicos que vinculan la geografía cumplen un papel fundamental al ofrecer herramientas que aportan al análisis espacial de cualquier situación real.

En la temática de los RAEE, la representación espacial de los datos impulsa la conectividad y trazabilidad entre los diferentes actores, porque al adaptar un espacio web libre para la divulgación y consulta se compila la información necesaria para que cualquier responsable de la toma de decisiones tenga acceso directo a las tendencias, histórico y volúmenes de datos requeridos. Esta posibilidad es clave para avanzar en la definición de una política pública oportuna, porque al analizar información y compararla con datos oficiales permite el avance en el manejo y gestión adecuada de este tipo de residuos.

En este sentido, el visor de información geográfico diseñado para la temática de RAEE permite comparar, bajo el lenguaje de la representación cartografía digital, variables como tipo y cantidad de material, programas posconsumo y gestión de RAEE. Con este proceso de geolocalización se avanza en la articulación entre las autoridades ambientales y los entes territoriales locales para promover estrategias asociadas a la Economía Circular Nacional, porque es directamente comprobable en las mesas de trabajo regional realizadas por el Grupo Retorna.

Durante este proceso, la socialización de las estrategias de devolución y diferentes jornadas de recolección fue más directa y fácil de promocionar; y, tal y como se registra en las salidas gráficas del geovisor, la participación de las organizaciones privadas y públicas, y en general de toda la comunidad, es mayor.

Esto ratifica la importancia que tiene hoy día la geografía en cualquier área del conocimiento y confirma lo mencionado por Seguel (2015) frente a que los mapas, al ser digitales y dinámicos, permiten entender el mundo y los cambios que en él ocurren. Estas nuevas estructuras de análisis espacial abren nuevas formas de entender, vivir y mejorar armónicamente nuestra interacción con los espacios físicos habitados. Es por eso que los portales de información geográfica disponibles en la web adquieren entonces un potencial enorme para transmitir un mensaje rápido y directo a través de los entornos digitales de comunicación que hoy día son los más populares.

Con los resultados de este proyecto se corrobora entonces el valor que representa la construcción de relaciones entre los espacios físicos y los diferentes grupos humanos que interactúan en él, siendo así una manera actual de generar territorialidad (Salaverría y García, 2008). Este enfoque de análisis geoespacial orienta entonces una forma diferente de pensar y resolver problemas de una manera más integral, porque con evidencias representadas en mapas se hace más comprensible posibles alternativas de manejo. En este sentido, la representación gráfica siempre será de los canales de comunicación más amplios y directos en todo tipo de temática y para cualquier grupo focal de población.

Conclusiones y recomendaciones

Hoy día, las geotecnologías son una apuesta para fortalecer y agilizar la transformación digital del sector de los RAEE y el posconsumo de materiales con potencial a ser reincorporados en la cadena productiva, porque permiten la trazabilidad y el monitoreo de los sistemas de gestión y recolección que operan actualmente para este tipo de residuos. Sin embargo, esto podrá ser viable en la medida en que se pueda garantizar la calidad de la información reportada y a futuro establecer estándares e indicadores que faciliten la toma de datos. Siendo este el primer ejercicio de incorporación de

datos a plataformas georreferenciadas detalladas, la fase I de *compilación de la información* fue la más dispendiosa por la depuración de datos para garantizar la calidad de la información reportada. Por tanto, se recomienda diseñar formularios de captura que estén estructurados al modelo de datos diseñado para la visualización de la información en los geovisores. De esta manera, se podrán generar comparaciones reales y, a futuro, seguir contrastándolas desde las regiones y los cambios que en ellas se presenten.

Para cumplir los compromisos y metas proyectadas hoy día por las organizaciones, es necesario vincular un trabajo conjunto entre organizaciones aliadas y fortalecer estrategias de comunicación y seguimiento innovadoras. Es así que, con el diseño del geovisor desarrollado en este proyecto, se amplifica el sentido de economía circular y crecimiento verde promovido por las entidades gubernamentales del país, porque enfoca y coadyuva al aprovechamiento máximo de los residuos tecnológicos como computadores y sus periféricos para contribuir a cerrar el ciclo de los materiales que pueden recuperarse.

Apoyar estas iniciativas y consolidar estrategias para la separación junto con la autoridad ambiental, se hace factible al impulsar la circularidad con herramientas *online* que no solo compilen información, sino que también la correlacionen para analizar las tendencias entre productores, transformadores y consumidores por ejemplo, porque lograr una conectividad directa de actores en una aplicación web impulsará las economías de escala hacia la innovación y la reducción en la producción de materiales para creación de nuevos productos.

Agradecimientos

Agradecimientos al Grupo Retorna y sus empresas aliadas, especialmente a EcoCómputo por el suministro de la información para poder adelantar el primer visor geográfico para RAEE en el país.

Referencias

- Acevedo, I. y Velásquez, H. (2008). Algunos conceptos de la econometría espacial y el análisis exploratorio de datos espaciales. *Ecos de Economía*, 12(27), 9-34. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ecos-economia/article/view/705>
- Baldé, C. P., D'Angelo, E., Luda, V., Deubzer, O. y Kuehr, R. (2022). *Global Transboundary E-waste Flows Monitor - 2022*. United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).
- Casas-Merchán, I. del P. y Toro-Calderón, J. (2020). Análisis de la vinculación de organizaciones de recicladores al Sistema de Gestión Formal de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en Bogotá D.C. *Luna Azul*, 50, 40-65. <https://doi.org/10.17151/luaz.2020.50.3>

- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2017). Política Nacional para la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Lineamientos establecidos por la Ley 1672 de 2013 D.O. 48.856, julio 19 de 2013 por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), y se dictan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/residuos-de-aparato-electricos-y-electronicos-raee/>
- Colombia, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (5 de agosto de 2022). Resolución 851. Por la cual se desarrollan los artículos 2.2.7A.1.3, 2.2.7A.2.1, el numeral 3.1 del artículo 2.2.7A.2.2, el numeral 3 del artículo 2.2.7A.2.4, el artículo 2.2.7A.4.2 y el artículo 2.2.7A.4.4 del Título 7A del Decreto 1076 de 2015 - Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible sobre la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial* No. 52.121.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). Construir un futuro mejor: acciones para fortalecer la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (LC/FDS.4/3/Rev.1), Santiago, 2021.
- Corporación EcoCómputo. (2022) Alianzas para la educación. En *Informe de Sostenibilidad*. Grafiqu Editores. Bogotá
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2019). Boletín Técnico. Indicadores básicos de tenencia y uso de Tecnologías de la Información y Comunicación - TIC en hogares y personas de 5 y más años de edad. 2018. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/tic/bol_tic_hogares_departamental_2018.pdf
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R. y Bel, G. (2020). *Observatorio Mundial de los Residuos Electrónicos 2020: Cantidades, flujos y potencial de la economía circular*. Universidad de las Naciones Unidas (UNU)/Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR) - coorganizadores del programa SCYCLE, Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Rotterdam. ISBN - Versión digital: 978-92-808-9127-0.
- Giraldo, F. (2017). *Racionalidad tecnológica en el uso y consumo de tecnología* (1.ª ed.). Editorial ITM. <https://doi.org/10.22430/9789585414075>
- Guavita, Y. (2022). *Retos de los productores de tecnología en la gestión integral de RAEEs dentro del contexto de economía circular y revolución 4.0 en Colombia* (tesis de maestría). Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/60716>
- León, J. (2010). Análisis de flujos de residuos de computadores en el sector formal e informal en Colombia. Instituto Federal Suizo de Prueba e Investigación en materiales, St. Gallen (Suiza), Centro Nacional de Producción más limpia y tecnologías ambientales, Medellín (Colombia). Bogotá.

Ministerio de Medio Ambiente. (2023, junio 9-10). Congreso Internacional de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Bogotá, Colombia. <https://www.youtube.com/watch?v=4e4W81oKDe8>

Olivencia, Y. J. y Sánchez, J. J. M. (2006). GIS in the analysis and identification of landscape: The case of Guadix River (Nevada Mountain Ranges National Park). *Cuadernos Geográficos*, (39), 103-123. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=17103907&iCveNum=6373>

Rahmanda, B., Njatrijani, R. y Fadillah, R. (2023). Environmental Policy in Managing E-Waste Recycling: Promoting a Clean Environment in Public Policy. *International Journal of Sustainable Development & Planning*, 18(1), 121-126. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.180112>

Salaverría, R. y García, J. A. (2008). La convergencia tecnológica en los medios de comunicación: retos para el periodismo. *Trípodos*, (23), 31-47.

Seguel, D. C. (2015). Mapas digitales y sociedad: geosemántica social, el poder del sentido de lugar. Polígonos. *Revista de Geografía*, 27, 61-96. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i27.3276>

Valbuena, L. B. e Ibarra-Vega, D. (2018). Metodología basada en SIG y modelamiento para la recolección de llantas usadas en Bogotá. *Luna Azul*, 47, 67-82. <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.47.4>

Vilalta, C. J. (2005). Cómo enseñar autocorrelación espacial. *Economía, Sociedad y Territorio*, (18), 323-333.

Word Resources Forum. (17 de julio de 2017). Colombia First Latin American Country With E-waste Management Policy. <https://www.wrforum.org/projects/sri/colombia-e-waste-management-policy/>

1 Magíster en Hábitat. Profesora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: msanabria@unisalle.edu.co - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7696-3247> - Google Scholar: https://scholar.google.com/citations?user=aDkFh_8AAAAJ&hl=es

2 Ingeniero Ambiental y Sanitario. Investigador. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: dasolano90@unisalle.edu.co - ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3698-6026> - Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=CmohdtYAAAAJ&hl=es>

3 Magíster en Derecho Constitucional. Directora-Fundadora del Observatorio de Economía Circular e Innovación de la Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: beortiz@unisalle.edu.co - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8672-4872> - Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=h7xSOB0AAAAJ&hl=es>

4 Doctor en Economía Internacional y Desarrollo. Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. Correo electrónico: alparra@unisalle.edu.co - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8430-6896> - Google Scholar: <https://scholar.google.es/citations?user=pWEycclAAAAJ&hl=es>

5 Para explorar el tablero de control conectarse a <https://www.oeciunisalle.com/geovisores/EdoComputo> (datos reportados de 2012 a 2019) y del año 2019 al 2021 conectarse a <https://arcgis/OLWSTC>

Para citar este artículo: Sanabria, M., Solano, D. A., Ortiz, B. E. y Parra, A. (2023). La geoinformación como estrategia de gestión para el tratamiento de los RAEE en Colombia. Luna Azul, 57, 100-121. <https://doi.org/10.17151/luaz.2023.57.7>

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Código QR del artículo

