



## MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA EN RESIDUOS ELECTRÓNICOS COLOMBIANOS PARA CONTRIBUIR CON EL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE

### LOGISTICS MODEL INVESTED IN COLMBIAN ELECTRONIC RESIDUES TO CONTRIBUTE TO THE CARE OF THE ENVIRONMENT

<sup>1</sup> Didier Rafael Martínez Villegas, <sup>2</sup> Ing. Luis Enrique Mendoza

<sup>1,2</sup> Universidad de Pamplona

<sup>1,3</sup> Facultad de ingeniería y arquitectura, Ingeniería Industrial  
E-mail: didiervillegas.ing@gmail.com

**Resumen:** La logística inversa, se define como la estrategia que consiste en la recuperación de residuos originados por una actividad productiva de consumo. En la actualidad el proceso de logística inversa tiene gran impacto en el medio ambiente, lo que permite mencionar que los modelos son fundamentales para el aprovechamiento de los materiales en las empresas. Este artículo presenta un estudio teórico sobre los modelos de logística inversa específicamente en residuos eléctricos y electrónicos y en otras áreas, con el fin de proponer un nuevo modelo el cual permita realizar un proceso con mayor impacto ambiental y que se aproveche de mejor manera los residuos disponibles. El artículo presenta un análisis de los modelos existentes y de esta manera se muestra un nuevo modelo. Los principios más visibles y que se aplican en este modelo, es la reutilización y el reciclaje, donde se recolectan los dispositivos que han dejado de funcionar, disponibles en los vertederos, para luego extraer y reutilizar los componentes más valiosos y por último triturar las otras partes.

**Palabras clave:** Logística inversa, impacto ambiental, residuos electrónicos y modelo de logística.

**Abstract:** Reverse logistics is defined as the strategy that consists of the recovery of waste originated by a productive activity of consumption. Currently the reverse logistics process has a great impact on the environment, which allows mentioning that the models are fundamental for the use of the materials in the companies. This article presents a theoretical study on reverse logistics models specifically in electrical and electronic waste and other areas, in order to propose a new model which allows a process with greater environmental impact to be carried out and which makes better use of the available waste. The article presents an analysis of the existing models and in this way a new model is shown. The most visible and applied principles in this model, is reuse and recycling, where the devices that have stopped working are collected, available at landfills, to then extract and reuse the most valuable components and finally crush the other parts.

**Keywords:** Reverse logistics, environmental impact, electronic waste and logistics model.



## I. Introducción

Mitigar el impacto ambiental es uno de los principales objetivos de la logística inversa. Por medio de la recuperación y reutilización de los residuos o desechos se logra ejecutar este tipo de logística.

La logística inversa es una de la más importante y reconocida herramienta que las empresas u organizaciones deberían implementar para tener una imagen positiva y poder ser llamadas empresas responsables. La logística inversa comprende las operaciones relacionada con la reutilización de productos y materiales incluyendo todas las actividades logísticas de recolección, desensamblaje y proceso de materiales, productos usados, y/o sus partes, para asegurar una recuperación ecológica sostenida.(Badenes, 2015). Es de sumo interés la existencia de esta logística porque permite que las industrias puedan mantenerse o abrirse a nuevos mercados. Además, obtendrían diferentes beneficios como: mejorar la satisfacción al cliente, ahorrar costes ya que se sustituye la materia prima virgen por material reciclado, reducción en el consumo de recursos, entre otros.

El auge de la tecnología y el crecimiento poblacional son participes de que los residuos electrónicos hoy en día constituyan una de las corrientes de mayor crecimiento. Estos residuos se ven reflejados en los aparatos obsoletos y los que han perdido su vida útil, es decir, que no están funcionando. Los residuos eléctricos y electrónicos son los aparatos que en el momento se desechan o se descartan debido a múltiples situación, entre las más comunes son: fin de la vida útil, cambio de equipo y mal funcionamiento. “Este término comprende todos aquellos componentes, consumibles y subconjuntos que forman parte del producto en el momento en que se desecha, salvo que individualmente sean considerados peligrosos, caso en el cual recibirán el tratamiento previsto para tales residuos”.(Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

La basura o residuos electrónicos es todo desecho de un dispositivo diseñado para funcionar con energía eléctrica de redes públicas, baterías u otros campos electromagnéticos. También se conoce como Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). (Urbina, 2015). Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico “los residuos electrónicos son definidos como “cualquier dispositivo que utilice un suministro de energía eléctrica que haya alcanzado el fin de su vida útil”. La directiva 2002/96/CE clasifica a los AEE (Aparatos eléctricos y electrónicos) en dos tipos generales: AEE de consumo masivo o doméstico y AEE de uso profesional o industrial. Estos residuos son importantes porque en ellos se pueden encontrar minerales que se pueden reutilizar, además contienen componentes potencialmente tóxicos, los cuales se deben gestionar correctamente.(De, n.d.)

Se han desarrollado diferentes trabajos de logística inversa en residuos electrónicos y en otras áreas distintas, entre los importantes están: la descripción del funcionamiento del modelo para los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) tipo 3, simulación de la tasa de productos retornados y la variabilidad bajo distintos escenarios de productos electrónicos por medio de un modelo dinámico para la red de logística inversa, presentación de un modelo para la evaluación de estrategias en la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos,



implementación de un modelo de logística inversa en diferentes tipos de empresa, importancia que brinda la logística inversa al medio ambiente por medio de un sistema de gestión en el sector de refrigeración, descripción de los procesos de logística inversa de dispositivos móviles de equipos celular para mitigar el impacto ambiental, descripción de un modelo dinámico aplicado a los desechos que producen los automóviles ( llantas) para evaluar el impacto ambiental.

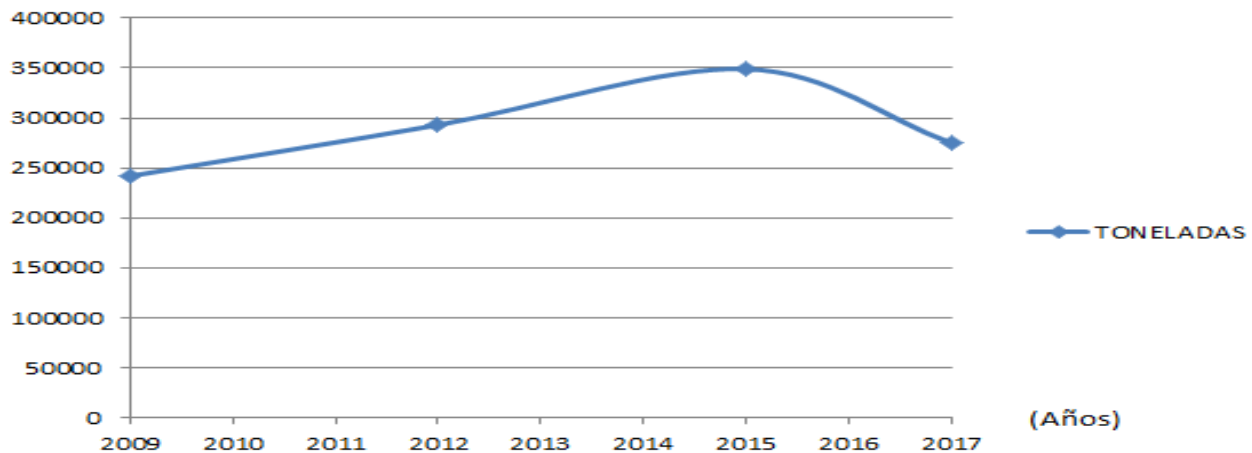
La diferencia o característica diferencial de este artículo es su modelo dinámico de logística inversa, cuyo propósito es que se pueda entender claramente el funcionamiento del sistema de logística inversa en los residuos electrónicos y los impactos ambientales causado por los procesos. También explica de manera específica lo que sucede dentro del modelo dinámico, es decir, describe los diferentes ciclos (C1, C2 y C3) que originan dicho modelo. Además, trae nuevos aportes para esta problemática de interés.

La estructura del artículo parte desde una base (el modelo dinámico desarrollado), sin perder la objetividad de contribuir con el cuidado del medio ambiente. Adicionalmente, contiene proyecciones y descripciones estadísticas colombianas con respecto a los residuos. Hace uso de distintos modelos gráficos para una fácil observación, análisis e interpretación

También presenta un desglose del modelo para una mejor interpretación del mismo. Se explica detalladamente cada ciclo formado: los aspectos involucrados, el funcionamiento del ciclo, aspectos afectados, dependencias, entre otros. Adicionalmente, muestra las diferencias de los resultados en comparación con otros trabajos que se han desarrollado, ya sea en la misma área o distinta.

## II. Modelos realizados

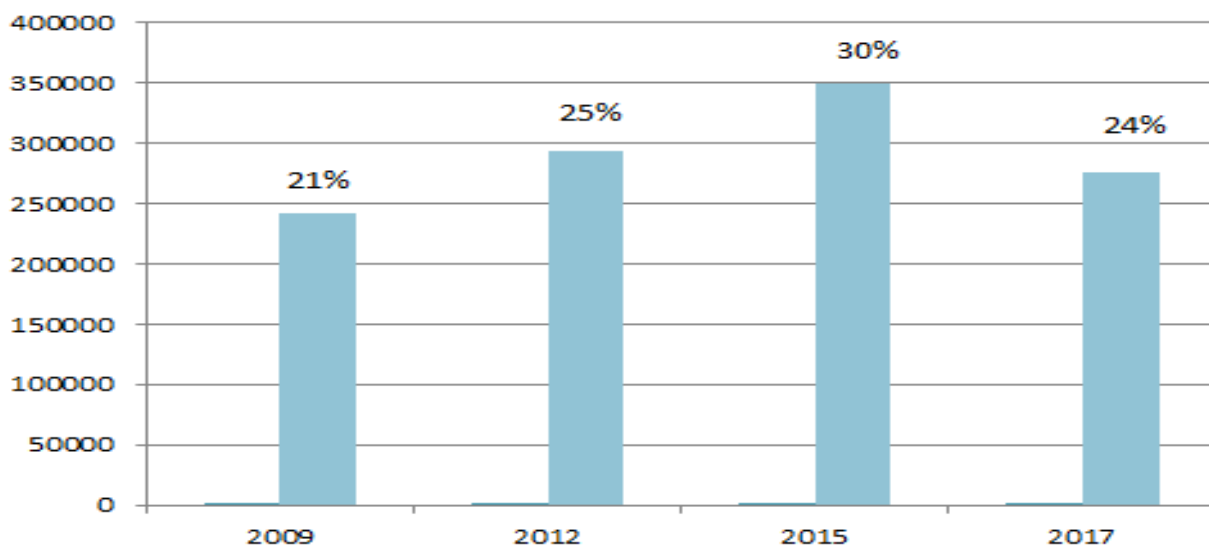
En la **Fig. 1**, Se muestra con más claridad las cantidades de residuos eléctricos y electrónicos generados en los diferentes años. Se observa que en el 2019 la cantidad de toneladas (T) es de 242.000; para el 2012 incrementó a 293.000 toneladas, con una diferencia de 51.000 T



**Fig. 1.** Crecimiento de los residuos eléctricos y electrónicos generados en Colombia.  
Fuente: Citado en (Román, 2015)



En la **Fig. 2**. Se proyecta comportamiento porcentual de los residuos que se han generado en diferentes periodos.



**Fig. 2.** Porcentaje de los residuos eléctricos y electrónicos generados en Colombia  
Fuente: Citado en (Román, 2015)

La ausencia de control de estos residuos puede ocasionar que la basura electrónica siga aumentando por periodos. Actualmente se puede utilizar controles, métodos o modelos dinámicos que ilustren cómo funciona la logística inversa, los cuales puedan permitir dar soluciones a los problemas de exceso de residuos eléctricos electrónicos, para tener efectos positivos como lo ocurrido en el año 2017.

Para la elaboración del modelo fue necesario recurrir a múltiples búsquedas bibliográficas e importancia de los modelos dinámicos.

En las búsquedas bibliográficas se seleccionó la información más relevante y cercanas a los residuos electrónicos y a la logística inversa en general para tener claridad en el planteamiento del modelo dinámico. Dentro de las investigaciones halladas se encontró un modelo de logística inversa aplicada a los residuos eléctricos y electrónicos tipo 3 en Bogotá, la cual se hizo a través de la identificación de las causas en la gestión de residuos.(Suárez, 2017). Por otro lado también se encontró otro modelo, el cual se asemeja más en al planteado en el presente artículo. En la ciudad de Monterrey, México llevaron a cabo un modelo dinámico para la red de logística inversa enfocado a la tasa de reciclaje de productos electrónicos generado en hogares y los efectos de la recolección informal en el sistema. (Villanueva, Iniestra, & Vargas, 2014). Otro modelo planteado y similar al anterior, en la metodología, (Manuel, Ibarra-vega, Monroy, & Bermúdez, 2018) presentaron un modelo para la evaluación de estrategias en la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, el cual los resultados fueron positivos ya que disminuía la cantidad de los residuos que llegaban a los depósitos o vertederos. El diseño de un modelo de logística inversa para las llantas aplicada en la capital colombiana.(Felipe & Cristancho, 2018).



Donde uno de los objetivos es disminuir el impacto ambiental y a su vez generar un aprovechamiento de los residuos, ya que el porcentaje de residuos generados es creciente.

La importancia de los modelos dinámicos permitió seguir con el avance y la elaboración del sistema formulado. Después de recopilar la información necesaria, correspondiente a lo planteado se establecieron las variables más relevantes dentro del modelo dinámico como: vertedero o disposición en vertedero, residuos electrónicos, reciclaje, trituración, coprocesamiento, entre otras. Seguidamente se relacionó las variables seleccionadas con un software (Vensim) para poder construir las relaciones causales e ilustrar de mejor manera el modelo dinámico.

El modelo dinámico es una herramienta que mediante gráficos y basado en el diagrama causal, permite el estudio y el análisis de sistemas continuos relacionando los subsistemas entre sí, permitiendo observar su comportamiento ante cualquier cambio en alguna de las variables de los mismos. (Forero, Mario, Verástegui, & Ariza, 2011). La dinámica de sistemas ayuda a comprender de mejor manera las relaciones de las variables dentro del proceso, además, permite mostrar las posibles consecuencias cuando una de las variables se ve afectada.

Los modelos existentes que se asemejan más al desarrollo de este artículo son:

**La Fig. 3.** Este modelo evalúa las estrategias de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

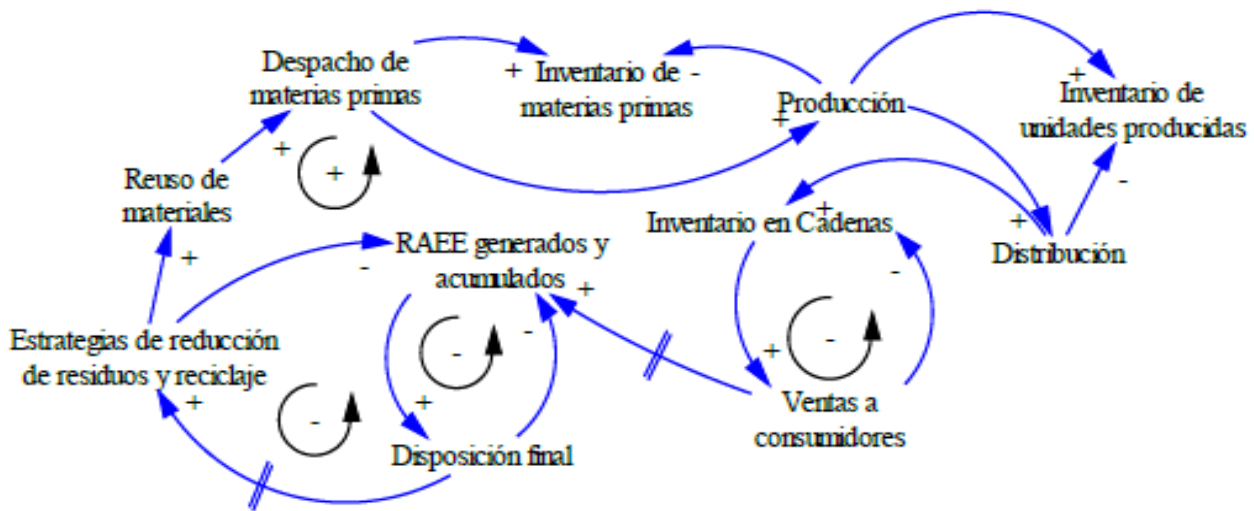


Fig. 3. Diagrama causal general  
Fuente:(Manuel et al., 2018)

En la Fig. 4. Muestra que las tasas de obsolescencias y falla de los equipos determina la cantidad de computadoras que se reemplazan y que pueden recuperarse para reciclaje.

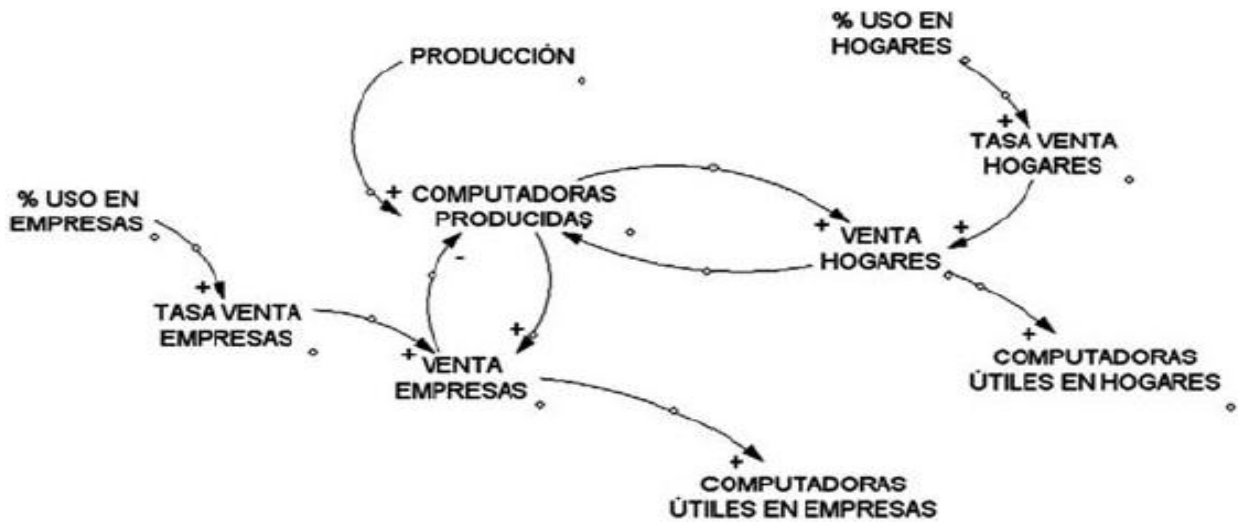


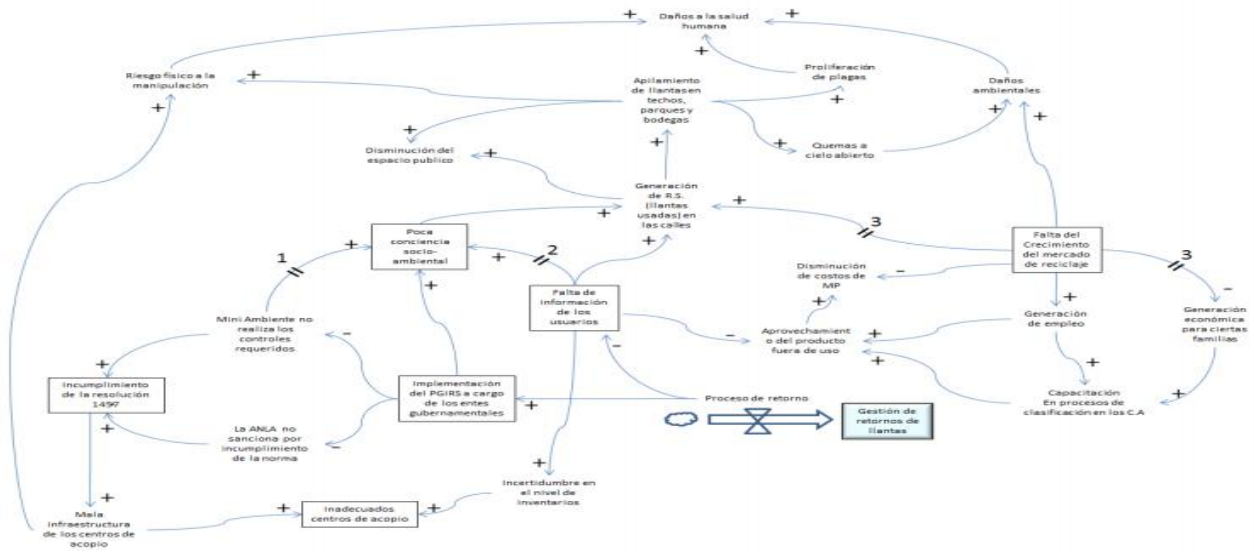
Fig. 4. Diagrama causal de subsistemas de producción y venta de computadoras  
Fuente: (Villanueva et al., 2014)

Fig. 5. Determina el comportamiento del inventario de computadoras potencialmente reciclables que mantienen las empresas.



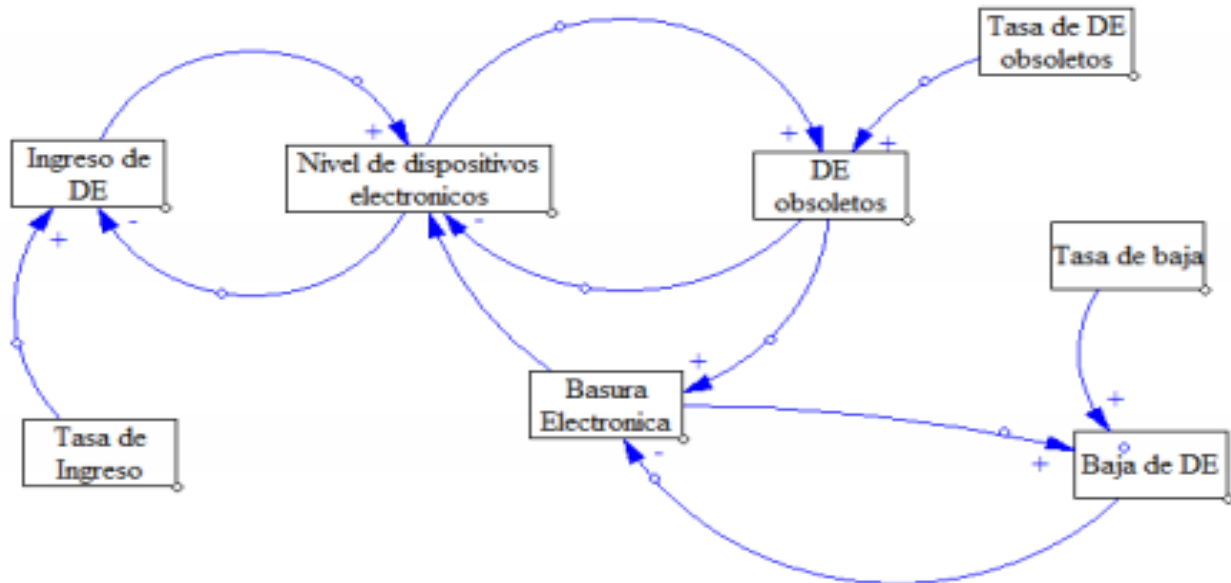
Fig. 5. Diagrama causal sobre el inventario potencial de residuos electrónicos en hogares  
Fuente: (Villanueva et al., 2014)

**Fig. 6.** Evidencia de mejor manera las causas encontradas del regreso de los residuos obtenidos por fuentes secundarias



**Fig. 6.** Diagrama causal de los errores en la gestión de retornos de llantas  
Fuente: (Felipe & Cristancho, 2018)

**Fig. 7.** Permite realizar operaciones por medio de convertidores, los cuales son los encargados de calcular las razones o tazas.



**Fig. 7.** Diagrama causal de la gestión de basura electrónica  
Fuente: (Isidoro, 2018)



III. Resultados

El modelo realizado mitiga los impactos o contaminaciones ambientales que se ven reflejadas en las aguas subterráneas, en la atmósfera, entre otros; además beneficia a la salud pública ya que reduce las emisiones tóxicas presentes en el aire a causa de la mala gestión de los residuos electrónicos. Gran parte de la contaminación es generada por la fabricación o elaboración de nuevos productos electrónicos al momento de ser desechados porque han dejado de funcionar.

Por otra parte, las relaciones de las variables que están en líneas rojas: coprocesamiento - contaminación y trituración o pulverización – contaminación, son las que reducen el impacto negativo ambiental. Esto se puede lograr siempre y cuando el coprocesamiento sea limitado o tenga restricciones y la trituración sea contralada. En la **Fig. 8**. Se expone las relaciones causales de la logística inversa en los residuos electrónicos, las cuales se explican a continuación.

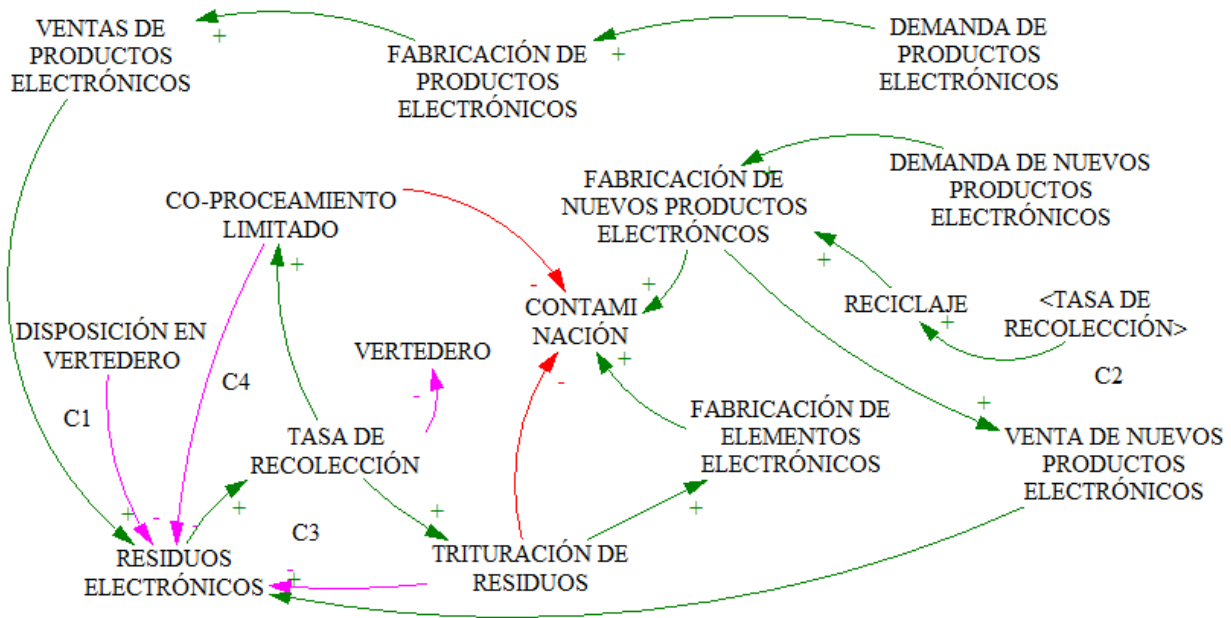


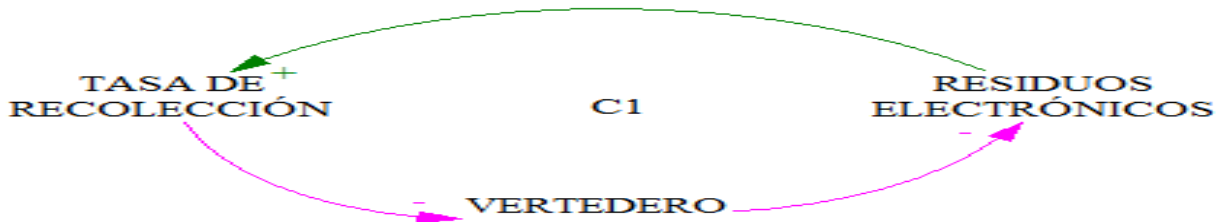
Fig. 8. Modelo dinámico  
Fuente: Autoría propia

En esta **Fig. 8**. se observa con claridad la presencia de cuatro ciclos (C1, C2, C3 & C4). De igual manera, se puede identificar los impactos ambientales (contaminación) que producen los diferentes procesos o bien sea, el coprocesamiento, la trituración, fabricación de elementos electrónicos y fabricación de nuevos productos electrónicos. Unas de las estrategias pertenecientes a las **6R** que se aplican dentro del modelo son el reciclaje y la reutilización, estos dos principios son los que más están presentes en los ciclos, los cuales permiten disminuir los desechos y por ende el impacto ambiental. Sucesivamente se explican los diferentes ciclos.

En la **Fig. 9**. Intervienen la tasa de recolección, los residuos electrónicos y el vertedero o disposición en vertedero. A medida de que los residuos electrónicos aumenten por ende aumentará la tasa de recolección, habrá más residuos por recolectar; por lo tanto disminuirá los

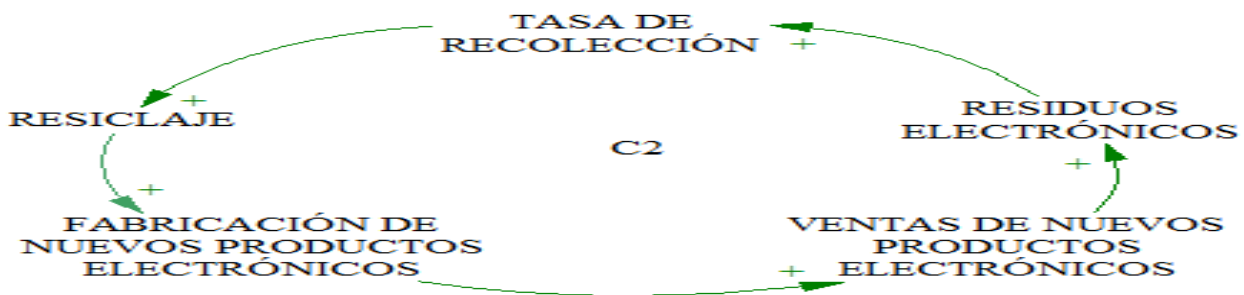


residuos que se encuentren en el vertedero debido a que los residuos recolectados serán en grandes cantidades. Esto quiere decir que existirá una mayor recolección de residuos para darles un nuevo uso. Cabe señalar que si la cantidad de residuos electrónicos son mínimos, la tasa de recolección se verá afectada de igual manera, por lo tanto en el vertedero habrá pocos residuos que recolectar. A la misma vez se estaría cumpliendo con el objetivo de mitigar el impacto ambiental gracias al modelo desarrollado.



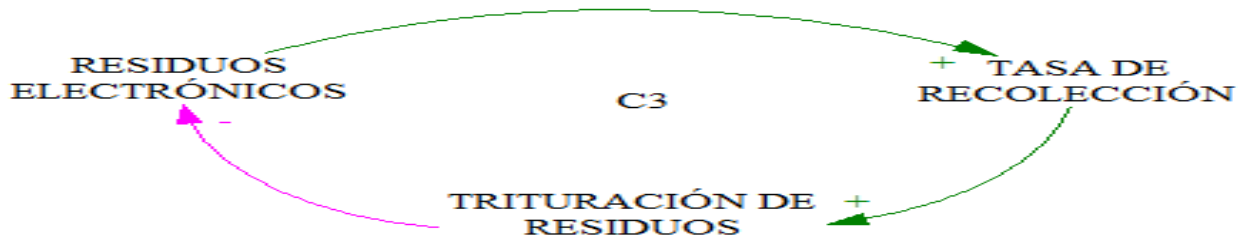
**Fig. 9.** Vertedero o disposición de vertedero  
Fuente: Autoría propia

En la **Fig. 10.** Las variables involucradas son: los residuos electrónicos, recolección, reciclaje, fabricación de nuevos productos electrónicos y ventas de nuevos productos electrónicos. Cuando incrementan los residuos electrónicos también se verá un aumento en la tasa de recolección, es decir, habrá más residuos recolectados y el proceso de reciclaje crecería, en este mismo proceso se reutilizan los componentes valiosos de los desechos electrónicos para fabricar un mayor número de fabricación de nuevos productos electrónicos, y se espera que de igual manera haya un crecimiento en las ventas. A medida que pase el tiempo, los productos vendidos se convertirán nuevamente en residuos. En caso de que los residuos electrónicos disminuyan, el ciclo se verá afectado en gran parte.



**Fig. 10.** Fabricación de nuevos productos electrónicos  
Fuente: Autoría propia

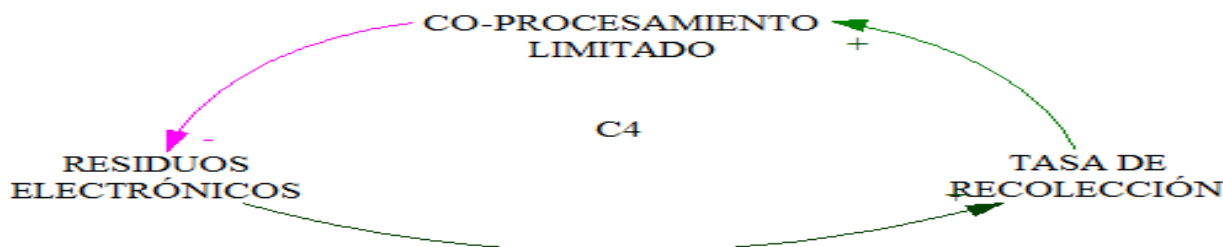
En la **Fig. 11.** Las partes involucradas son: residuos electrónicos, tasa de recolección y trituración de residuos. Cada vez que la cantidad de residuos electrónicos aumenten, existirá una tasa de recolección bastante alta, por lo tanto la trituración o pulverización será mayor. En este ciclo cuando los residuos llegan al proceso de trituración o cuando se pone en funcionamiento la actividad de triturado, disminuirán los residuos electrónicos. Se observa la mitigación del impacto ambiental por medio de la reducción de residuos.



**Fig. 11.** Trituración o pulverización de residuos electrónicos  
Fuente: Autoría Propia

Por último en la **Fig. 12.** Conformado por la tasa de recolección, coprocesamiento limitado y residuos electrónicos. En este ciclo si hay gran cantidad de residuos electrónicos, también se obtendrá una mayor tasa de recolección, es decir, habrá más residuos que tendrán un coprocesamiento con restricciones para que la contaminación al medio ambiente sea menor y como efecto disminuirán los desechos. Al pasar una gran cantidad de desechos por el coproceso, se estaría disminuyendo dicha cantidad.

Otra interpretación sería: en este último ciclo, en caso de que los residuos electrónicos disminuyan, el coprocesamiento limitado se ve afectado, de tal manera que el coprocesamiento sería menor porque habría pocos residuos por coprocesar.



**Fig. 12.** Coprocesos de los residuos electrónicos  
Fuente: Autoría propia

El proceso de logística inversa en los residuos electrónicos comienza por la recolección por medio de la implementación de puntos estratégicos, depósitos especiales y jornadas de recolección. Después se separan los residuos recolectados, luego entran a un proceso de desensamblaje o deshuesadora donde separan las partes más pequeñas y valiosas de los aparatos para reutilizarlos en la fabricación de nuevos productos electrónicos. El resto del material como el plástico, puede ser transformado después de la trituración o pulverización.

Lo bueno o lo positivo del modelo propuesto es el aporte que le brinda a unas de la mayores problemáticas a nivel mundial, contaminación del medio ambiente. A partir del concepto de logística inversa y de relaciones causales mitiga las contaminaciones generada por las crecientes corrientes de residuos electrónicos. El modelo desarrollado aprovecha de mejor manera los desechos electrónicos haciendo uso de diferentes actividades o procesos.



Una de las ventajas del modelo propuesto en comparación con los pocos encontrados, es que contiene y utiliza variables de gran importancia, las cuales son esenciales para contribuir con el cuidado del medio ambiente. Variables como el reciclaje y la recolección son las que más hacen presencia durante el funcionamiento del modelo. Estas logran cumplir con uno de los objetivos primordiales (reducir el impacto ambiental), al momento de su ejecución. De igual manera hace uso de algunas de las estrategias de las 6R, dado que estas son vitales para producir un impacto positivo al medio ambiente.

El modelo puede ser utilizado en una organización para contribuir a las tomas de decisiones con respecto al manejo de los residuos electrónicos.

Por medio del reciclaje en el ciclo 2, existiría una reducción de costo ya que se estaría utilizando materiales reutilizados en vez de materia prima virgen. Una ventaja más que beneficiaría a las empresas

El modelo por no ser extenso, permite una fácil comprensión del mismo, se entiende con facilidad el comportamiento de cada proceso o actividad dentro de la logística inversa. Por otro lado incluye una variable muy poco utilizada en diferentes modelos enfocados a los residuos electrónicos; la variable es el coprocesamiento límite, esta permite darle un tratamiento controlado a los residuos eléctricos para que no se origine contaminación.

El modelo puede ayudar a que las empresas puedan hacer un análisis del problema, ya que este tipo de modelo son fundamentales para el aprovechamiento de materiales, se vería favorecida debido a que aprovecharía de mejor manera los residuos.

Una diferencia de este modelo a los presentados, es que identifica los distintos bucles o ciclos que origina el modelo, analizando y explicando los efectos que produce una actividad sobre otra, permitiendo entender lo que sucede en cada ciclo formado.

Los modelos presentados no incluyen variables de coprocesamiento limitado, ya sea en el área de los residuos electrónicos u otra, por lo tanto al incluir esta variable en el modelo propuesto lo hace ver bastante peculiar. El coproceso limitado podría ser una gran opción para eliminar los residuos, siempre y cuando este tenga las restricciones debidas y que exista un buen control para que no se vea afectada la parte ambiental.

El modelo también se diferencia por hacer uso de la trituración o pulverización de los residuos, pues a partir de la trituración se pueden fabricar nuevos productos electrónicos, dando un claro ejemplo del comportamiento de la logística inversa dentro de un modelo dinámico



## IV. Conclusiones

Por medio de la logística inversa y la presencia de algunos de los principios o estrategias de las 6R como el reciclaje y la reutilización dentro del modelo, permite que todo el proceso sistemático sea responsable con el cuidado del medio ambiente, es decir, contribuye en reducir los impactos negativos que producen los desechos electrónicos. Por otro, en cada ciclo del modelo se encuentra la variable de recolección, ya que a partir de esta comienza todo el proceso de logística inversa en residuos electrónicos, es decir, es una parte fundamental dentro del sistema. Es una de las variables de mayor importancia ya que otras variables como tasa de recolección, trituración, entre otros, dependen de ella.

Así mismo, la logística inversa permite volver a reutilizar los componentes que se encuentran escondidos en los dispositivos electrónicos. Una de las características del modelo, es que por medio del coprocesamiento y la pulverización se puedan volver a utilizar los componentes valiosos como materias primas para la fabricación de nuevos productos. La pulverización y el coprocesamiento servirían de gran apoyo para las empresas u organizaciones, ya que les permite gestionar los residuos. El impacto que produce el modelo beneficia a dos partes, a la salud y al medio ambiente. Dentro del modelo funcionan diferentes procesos, los cuales brindan un gran aporte en mitigar la contaminación ambiental ya que el propósito de ellos es manejar correctamente los residuos electrónicos. El modelo presenta variables específicas y esenciales para cada proceso como: la pulverización o trituración, el coproceso, reciclaje, entre otros, para así darle un debido manejo a los residuos electrónicos.

## V. Referencias

- ¿Qué son los RAEE? | Sustancias Químicas y Residuos Peligrosos | Ministerio del Medio Ambiente. (2019).
- Badenes, R. (2015). La Logística Inversa: Concepto y Definición. ., 7.
- De, G. I. D. R. (n.d.). Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.
- Felipe, C., & Cristancho, L. (2018). Diseño de un modelo de logística inversa para llantas. Una aplicación en proyectos de construcción de vivienda de interés social en Bogotá D.C. Universidad de América.
- Forero, I. H., Mario, I., Verástegui, R., & Ariza, L. C. (2011). Modelo de dinámica de sistemas para el proceso de producción de la mandarina System dynamics model for the production process of the mandarin. 0–5.
- Isidoro, U. (2018). Modelo de dinámica de sistemas para gestionar la producción de basura electrónica en la facultad de ingeniería. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Manuel, J., Ibarra-vega, D., Monroy, L., & Bermúdez, J. (2018). Assessment strategies for the integral management of waste electrical and electronic equipment-WEEE • Evaluación de estrategias para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.62564>
- Román, I. (2015). eWaste en Colombia. Argentina.



Suárez, T. y T. (2017). Diseño de un modelo de logística inversa para los RAEE tipo 3. (October). Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/320623593\\_DISENO\\_DE\\_UN\\_MODELO\\_DE\\_LOGISTICA\\_INVERSA\\_PARA\\_LOS\\_RAEE\\_TIPO\\_3](https://www.researchgate.net/publication/320623593_DISENO_DE_UN_MODELO_DE_LOGISTICA_INVERSA_PARA_LOS_RAEE_TIPO_3)

Urbina, H. (2015). Basura Electrónica Cuando El Progreso Enferma Al Futuro. *Medicina*, 37(1), 39–49.

Villanueva, M., Iniestra, J. G., & Vargas, M. G. (2014). Simulación de la tasa de reciclaje de productos electrónicos Un modelo de dinámica de sistemas para la red de logística inversa. *Contaduría y Administración*, 59(1), 9–41. [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(14\)71242-2](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(14)71242-2)