



## 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

**Didier Rafael Martínez Villegas**

**Universidad de Pamplona**

Facultad de ingeniería y arquitectura, Ingeniería Industrial  
E-mail: didier9405@hotmail.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:** The reverse logistics it is defined as the strategy that consist in the recovery of waste originated by a productive activity of consumption. Currently, the reverse logistics process has a great impact on the environment, what 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, in order to carry out a process with greater environmental impact and to make better use of available waste. The article presents an analysis of the existing models and in this way a new model is shown. The most visible principles that apply in this model is reuse and recycling, where devices that have stopped working are collected, available in landfills then extract and reuse the most valuable components and finally crush the other parts.

La Universidad de Pamplona en aras de promover la publicación de carácter formativo y específicamente de los semilleros de investigación a creado bajo lineamientos de la vice rectoría

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



## 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.

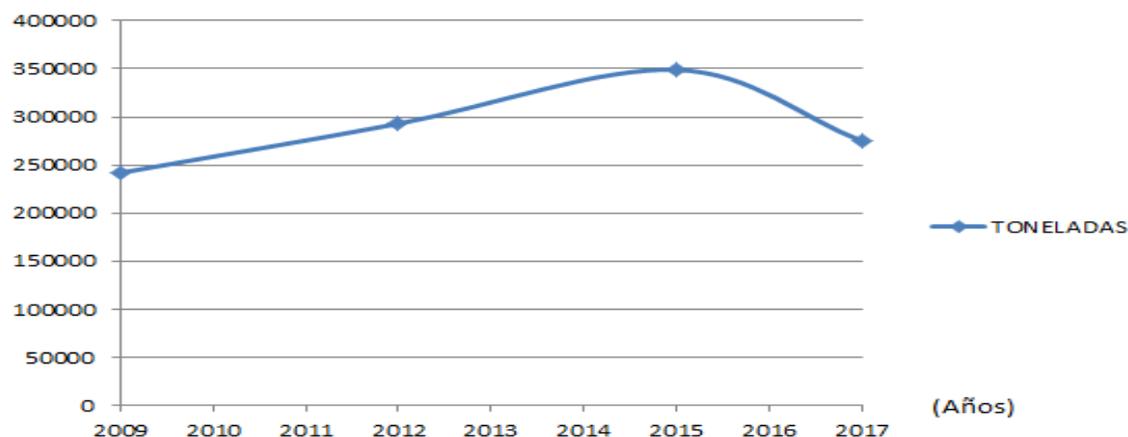
La diferencia o característica diferencial de este artículo es su modelo dinámico de logística inversa, cuyo propósito es que se pueda entender claramente el funcionamiento del sistema de logística inversa en los residuos electrónicos y los impactos ambientales causado por los procesos. También explica 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

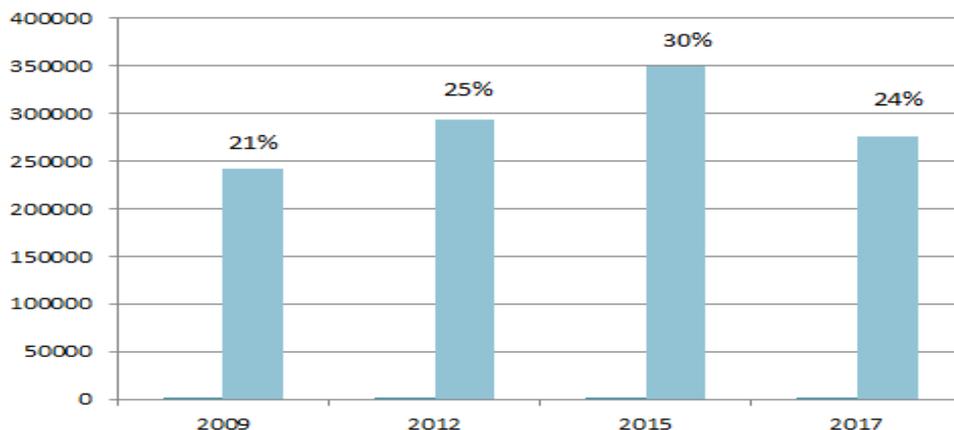
En la **Fig. 1**, Se muestra con más claridad las cantidades de residuos eléctricos y electrónicos generados en los diferentes años. Se observa que en el 2019 la cantidad de toneladas (T) es de 242.000; para el 2012 incrementó a 293.000 toneladas, con una diferencia de 51.000 T



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

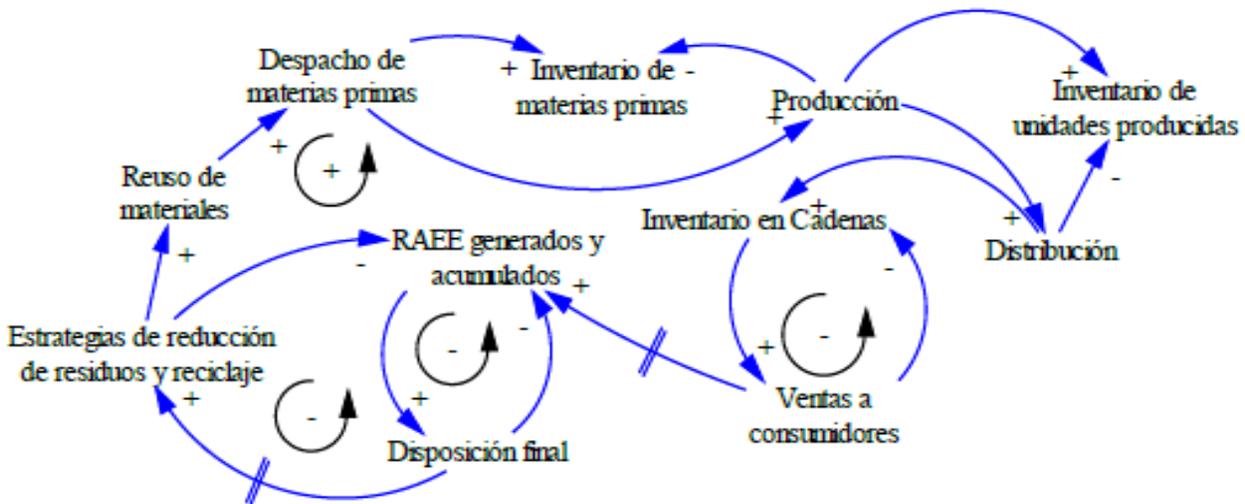


La importancia de los modelos dinámicos permitió seguir con el avance y la elaboración del sistema formulado. Después de recopilar la información necesaria, correspondiente a lo planteado se establecieron las variables más relevantes dentro del modelo dinámico como: vertedero o disposición en vertedero, 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 si, 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.

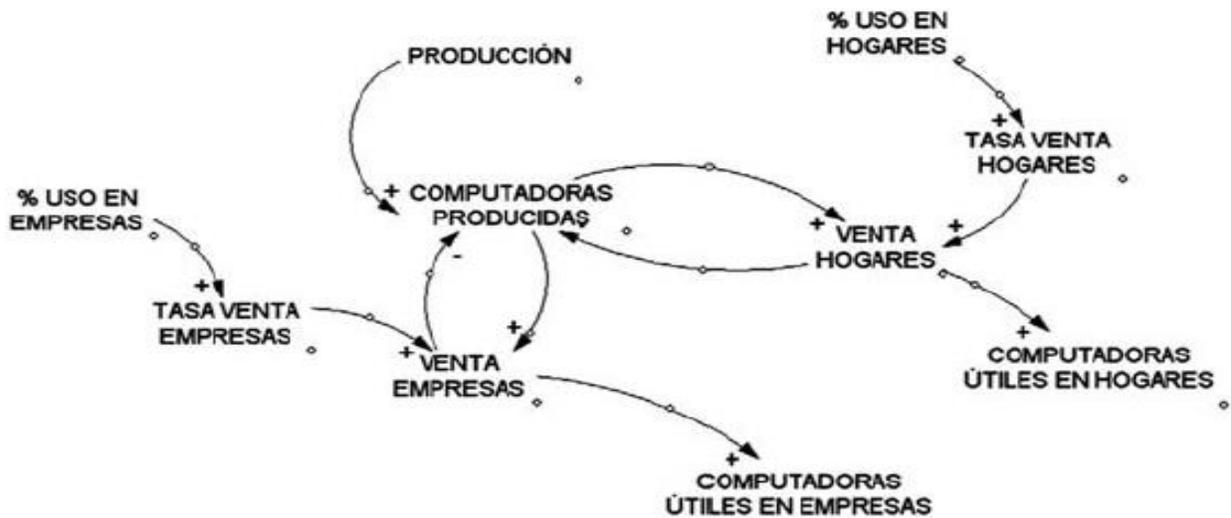
Los modelos existentes que se asemejan más al desarrollo de este artículo son:

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



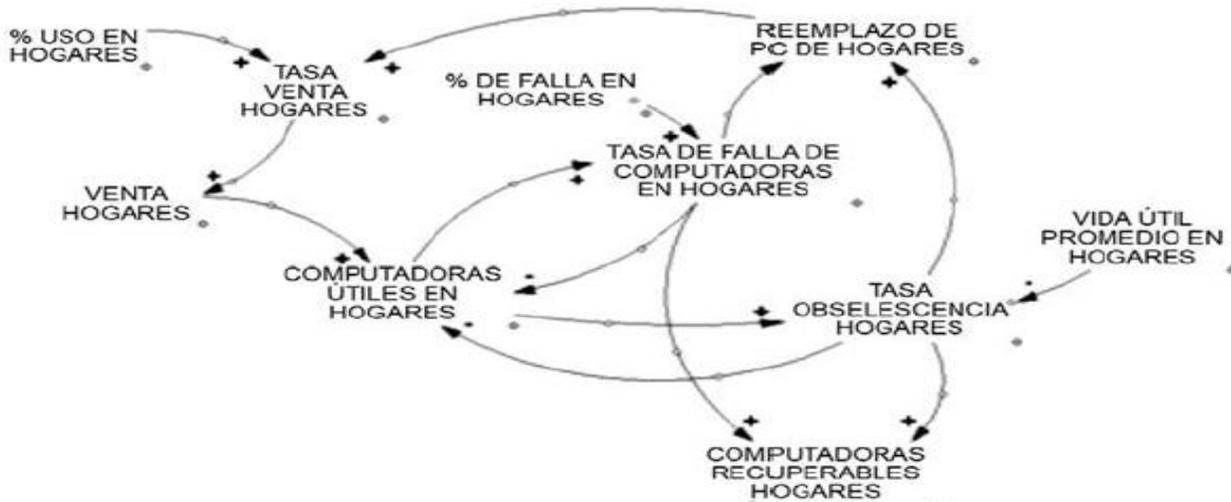
**Fig. 3.** Diagrama causal general  
Fuente:(Manuel et al., 2018)

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.



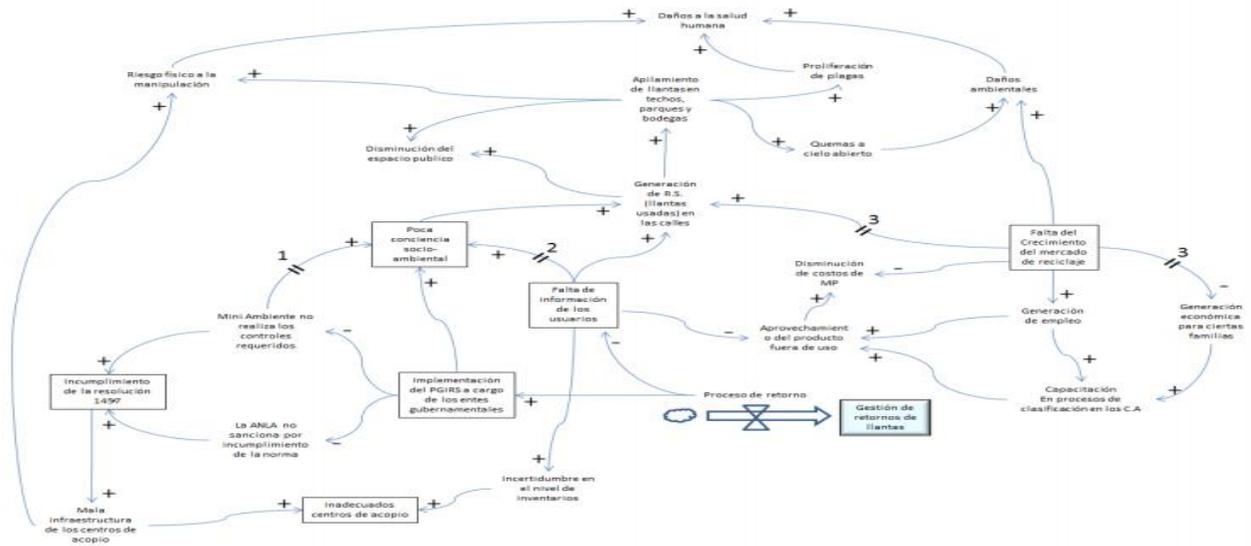
**Fig. 4.** Diagrama causal de subsistemas de producción y venta de computadoras  
Fuente: (Villanueva et al., 2014)

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



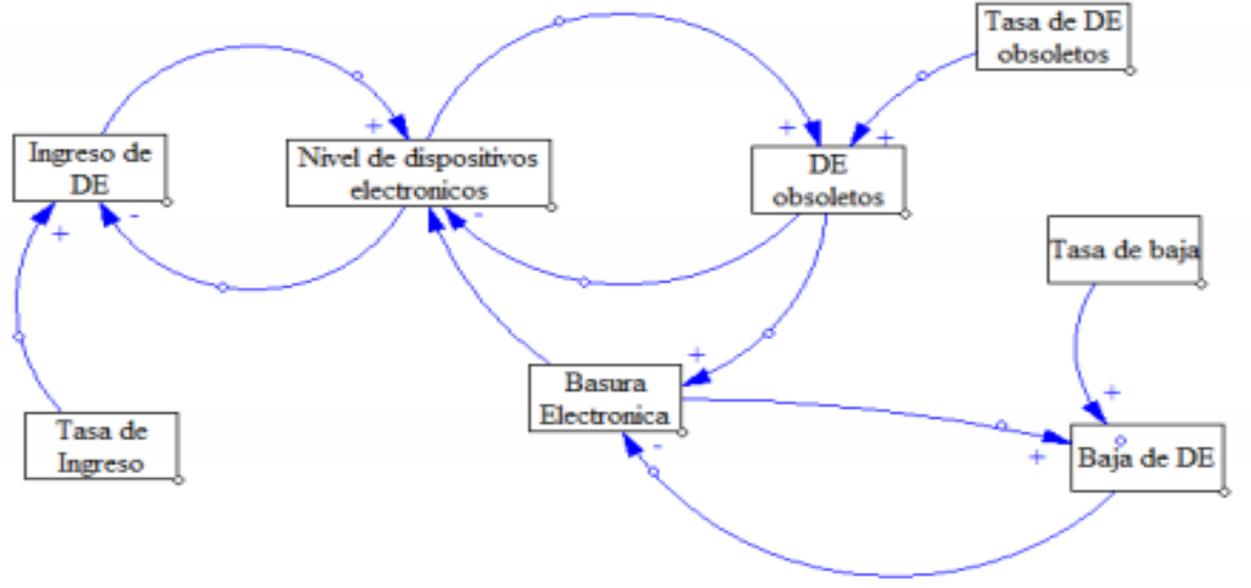
**Fig. 5.** Diagrama causal sobre el inventario potencial de residuos electrónicos en hogares  
Fuente: (Villanueva et al., 2014)

**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.

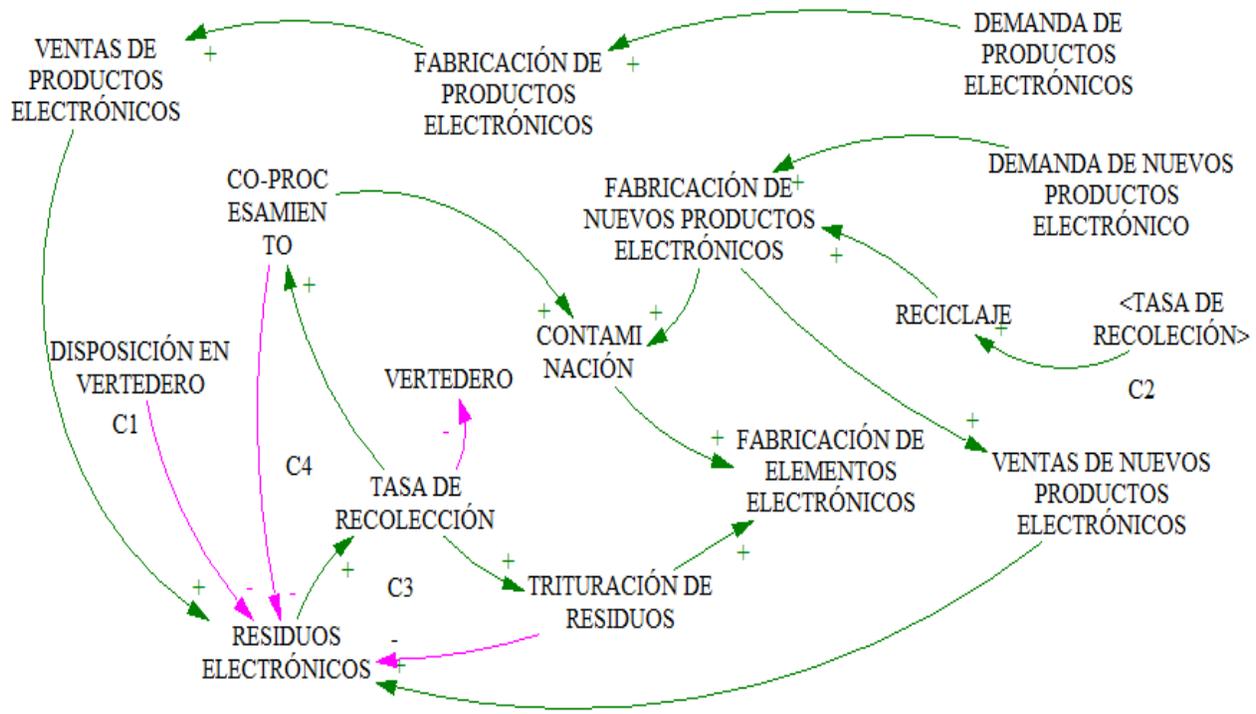


**Fig. 7.** Diagrama causal de la gestión de basura electrónica  
Fuente: (Isidoro, 2018)

**III. Resultados**



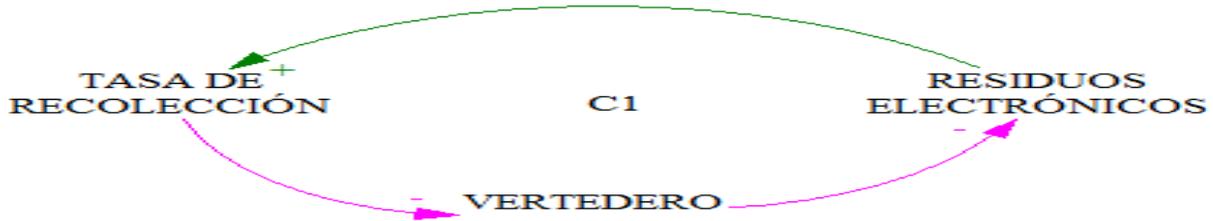
El modelo realizado mitiga el impacto ambiental (contaminación) que producen los procesos de fabricación de nuevos productos electrónicos (al momento de ser desechados), la trituración y el coprocesamiento. En la Fig. 1 se expone las relaciones causales de la logística inversa en los residuos electrónicos, las cuales se explican a continuación.



**Fig. 8.** Modelo dinámico  
Fuente: Autoría propia

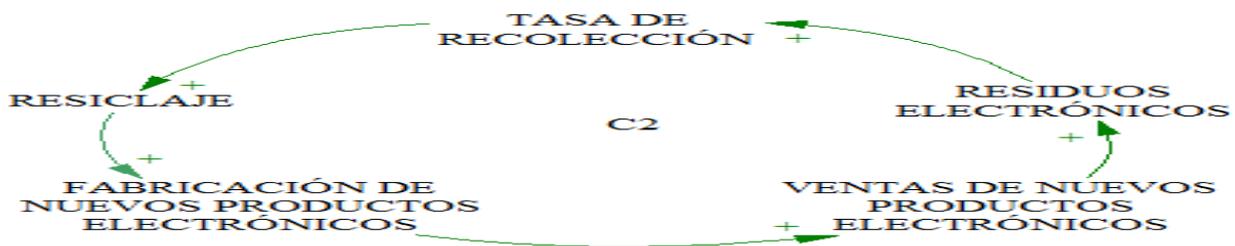
En esta **Figura. 8.** se observa con claridad la presencia de cuatro ciclos (C1, C2, C3 & C4). De igual manera, se puede observar el impacto ambiental (contaminación) que producen los procesos o actividades. Unas de las estrategias que se aplican dentro del modelo son el reciclaje y la reutilización, estos dos principios son los que más están presentes en los ciclos y los cuales permiten disminuir los desechos, y por ende el impacto ambiental. Sucesivamente se explicará los diferentes ciclos.

En la **Fig. 9.** Participan la tasa de recolección, los residuos y el vertedero. Si los residuos electrónicos aumentan por ende aumentará la tasa de recolección, por lo tanto disminuirá los residuos que se encuentren en el vertedero. Esto quiere decir que habrá mayor recolección de residuos para darles un nuevo uso. A la misma vez se estaría cumpliendo con el objetivo de mitigar el impacto ambiental gracias al modelo desarrollado.



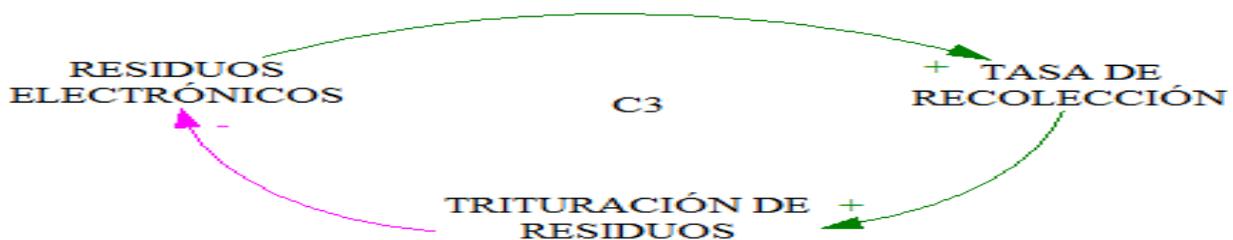
**Fig. 9.** Vertedero o disposición de vertedero  
Fuente: Autoría propia

En la **Fig. 10.** Se ven involucrados 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, si hay más residuos recolectados para el proceso de reciclaje, se fabricarán mayor número de productos nuevos 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.



**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. 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.



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

Por último en la **Fig. 12.** Conformado por la tasa de recolección, coprocesamiento 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 para ser coprocesados y como efecto disminuirán los desechos.

Otra interpretación sería: en este último ciclo el coprocesamiento se ve afectado ya que si aumentan los residuos electrónicos, también incrementará el coproceso que se le da a los residuos. Al pasar una gran cantidad de desechos por el coproceso, se estaría disminuyendo esa cantidad de desechos o residuos.

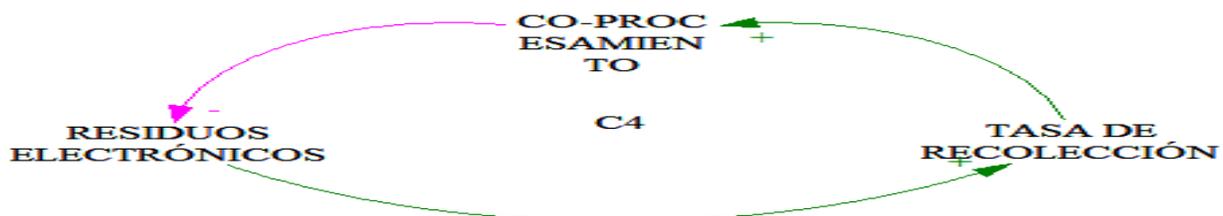


Fig. 12. Coprocesos de los residuos electrónicos  
Fuente: Autoría propia

Los residuos electrónicos se recolectan 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.

## 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)