

Análisis de Resultados

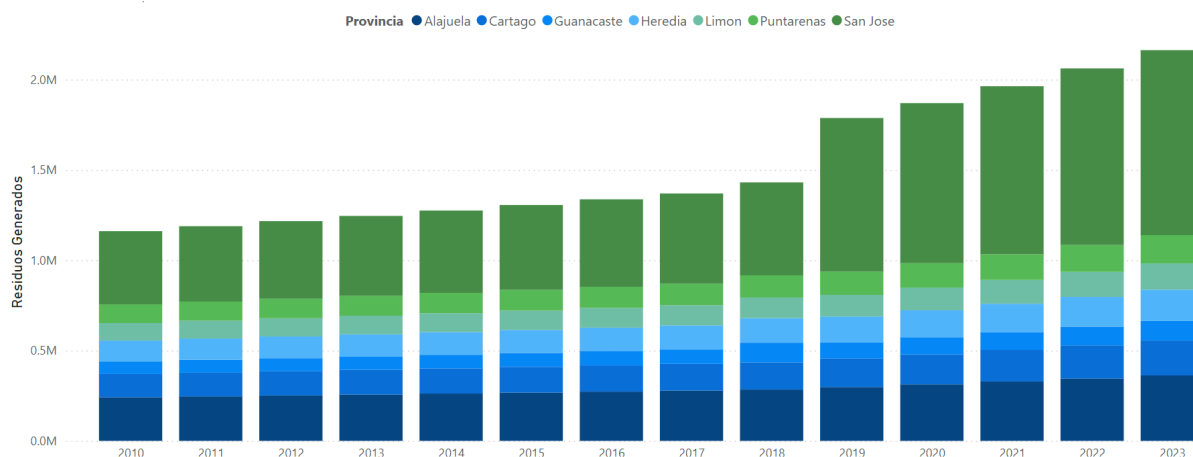
Una vez creada la herramienta y validados los resultados, se analizaron los datos predictivos para el 2025, 2026 y 2027. Con el objetivo de analizar los resultados asociados a cada una de las variables utilizadas, se contó con la ayuda de PowerBi, de manera de que la visualización de patrones y comportamientos pudiera ser estudiada con claridad.

Residuos Generados por Año y Provincia

Se dispone de datos históricos de población que abarcan un periodo de 14 años, con una tasa de crecimiento estimada entre el 1% y el 5%. Se anticipa que este comportamiento se mantenga en los próximos años. Como se muestra en la Figura 5, es evidente que existe una correlación significativa entre el crecimiento poblacional y el incremento en la generación de desechos sólidos en Costa Rica.

Figura 5

Residuos generados por año y provincia



San José es la provincia que presenta la mayor generación de residuos, lo que se relaciona estrechamente con el tipo de vivienda predominante (urbana, rural o mixto). A medida que una provincia se torna más urbana, aumenta la generación de residuos sólidos, alcanzando aproximadamente entre 1 y 2 millones de toneladas anuales como se observa en la Figura 6.

Entre los factores que contribuyen a que las zonas urbanas generen más residuos sólidos se encuentran la alta densidad poblacional, la mayor concentración de comercios y actividades urbanas, así como los estilos de vida y la capacidad adquisitiva de sus habitantes. Además, se puede considerar que las áreas urbanas

Figura 6

Residuos generados por año y tipo de vivienda



suelen contar con un espacio limitado para la gestión de residuos orgánicos, y una alta variabilidad de tipo de residuos, entre otros aspectos.

Diversos estudios han demostrado esta estrecha relación. Un estudio de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) muestra un aumento exponencial entre el crecimiento de la población urbana y la generación de residuos en general¹ (UICN, 2023). De acuerdo con informes del Banco Mundial, un habitante urbano puede generar entre 0.5 a 4.5kg de residuos sólidos por día. La cantidad de residuos generados por persona por día está también relacionado con el tamaño y desarrollo de la ciudad. En zonas rurales, el promedio de generación de residuos por persona por día es de 0.2 a 1kg² (Grupo Banco Mundial, 2018). Los datos utilizados en esta herramienta SICR tienen su origen en estudios del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Los resultados muestran que las zonas urbanas tienden a tener un mayor poder adquisitivo que se traduce en un consumo más elevado, y consecuentemente en mayor cantidad de residuos generados.

Dado que la actividad económica primaria se refiere a la obtención de materias primas a partir de fuentes naturales, la actividad económica secundaria engloba los procesos industriales que transforman estas materias primas, y la actividad económica terciaria abarca los servicios y el transporte, los resultados encontrados son tanto esperables como interesantes.

La actividad económica secundaria está estrechamente vinculada al aumento en la generación de residuos sólidos, especialmente en el caso de la industria manufacturera. Este sector produce una cantidad significativa de desechos debido a varios factores: desperdicio de materiales, desechos por empaques y otros desechos industriales por subproductos no deseados, entre otros. Por lo tanto, las provincias cuya actividad económica predominante es la secundaria tienden a tener un impacto alto en la generación de residuos. Como resultado, las regiones donde la actividad económica predominante es la manufactura tienden a experimentar un impacto significativo en la generación de residuos sólidos.

Sin embargo, la actividad económica primaria, principalmente la agricultura, la minería y la pesca, tienen un alto impacto en la cantidad de residuos producidos, aunque no de la misma forma que la actividad industrial. El presente proyecto se centra en la generación de residuos sólidos como el plástico, vidrio, aluminio, papel y cartón, que principalmente son producidos por la actividad manufacturera y sus subproductos³ (Theng, R. S. K., 2016).

Plan de Mitigación de Impacto Ambiental por Desechos Sólidos

Un objetivo primordial de la herramienta SICR era desarrollar un plan de mitigación de impactos ambientales por residuos sólidos, basado en las proyecciones del modelo predictivo. Este plan, a implementarse en los próximos dos años, busca transformar radicalmente la gestión de residuos. Para ello, es fundamental comprender las diferencias entre el modelo productivo tradicional y el modelo circular propuesto, con el fin de diseñar estrategias de transición efectivas.

La economía circular es un nuevo modelo de producción y consumo cuyo principal objetivo es minimizar los residuos producidos en los ciclos de obtención de materiales y creación de productos. El modelo de

¹ Índices de Naturaleza Urbana de la UICN. (2023). Marco metodológico e indicadores claves.

<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2023-015-Es.pdf>

² Grupo Banco Mundial. (2018, septiembre 20). Los desechos: un análisis actualizado del futuro de la gestión de los desechos sólidos.

<https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>

³ Theng, R. S. K. (2016). Industrial Waste Management: An Introduction. CRC Press.

<https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-03/documents/industrial-waste-guide.pdf>

producción y consumo tradicional que se utiliza ampliamente hoy en día se centra en "extraer, fabricar, usar y desechar".

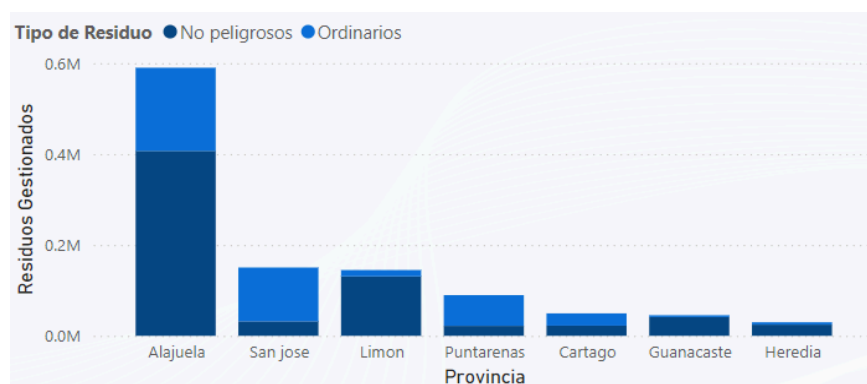
Por el contrario, la economía circular se basa en los principios de reducir, reutilizar, reparar y reciclar. Cambiar de modelo productivo puede tomar mucho tiempo e incluye Diseño para el ciclo de vida, optimización de procesos, colaboración con la cadena de suministro (sourcing sostenible y logística inversa) y promoción del reciclaje.

El modelo de producción tradicional genera una avalancha de residuos que crece exponencialmente (Figura 5). Según la Fundación Ellen MacArthur, menos del 5% de estos desechos se recicla efectivamente. Ante esta crisis, el reciclaje se erige como una pieza clave en la transición hacia una economía circular, no sólo para gestionar los residuos actuales, sino para reimaginar por completo nuestros sistemas productivos. Una forma industrializada de poder manejar los residuos sólidos, en particular los recursos valorizables, es por medio de Gestores de Residuos o Centros de Acopio, los cuales buscan recolectar, clasificar y valorizar los residuos que generamos, reinsertándolos en la cadena productiva y reduciendo la cantidad de material que termina en vertederos.

Los orígenes de los Gestores de Residuos o Centros de Acopio (CA) en Costa Rica se remontan a la década de 1970, cuando comenzó a gestarse una conciencia ambiental. Si bien es complejo establecer una fecha exacta para su surgimiento, es evidente que han evolucionado significativamente. Hoy en día, Costa Rica cuenta con una amplia red de gestores, tanto públicos como privados. La Figura 7 revela una concentración notable de gestores de residuos en la provincia de Alajuela, un hecho que podría atribuirse a diversos factores: la presencia de grandes industrias como FANAL y FIFCO, la extensión territorial del cantón central y su desarrollo urbano, así como la accesibilidad a las vías principales.

Figura 7

Residuos gestionados por provincia



Los Gestores de Residuos o Centros de Acopio son pilares fundamentales para la transición hacia una economía circular en Costa Rica. Según las proyecciones del modelo de IA (Figura 7), es imperativo ampliar la red de Gestores de Residuos en ubicaciones estratégicas. Esta expansión no solo facilitará una gestión más eficiente de los residuos sólidos a nivel gubernamental, sino que también garantizará un mayor flujo de materiales reciclables hacia las cadenas productivas, acelerando así la transición hacia una economía circular. Asimismo, los Gestores de Residuos también promueven la conservación de

recursos naturales y la reducción de residuos en vertedero, ambos con un impacto importante en la sustentabilidad de las actividades económicas del país.

En resumen, el **Plan de Mitigación** propone una transformación en la gestión de residuos de Costa Rica, promoviendo una economía circular y fortaleciendo la red de Centros de Acopio. Este esfuerzo, basado en los datos de SICR, busca reducir de manera eficiente la generación de residuos en los próximos dos años. La **herramienta SICR** funciona como un **diagnóstico detallado de la situación actual de la gestión de residuos sólidos en Costa Rica**. A través de la educación ambiental, la participación ciudadana y la colaboración de todos los sectores, se busca construir un futuro más sostenible, donde los residuos se conviertan en recursos. Concisamente, el plan debe incluir las siguientes áreas:

- **Expansión de la Red de Gestores de Residuos:** Especialmente a zonas del país que cuentan con poco apoyo de Gestores de Residuos oficiales que puedan manejar tanto desechos no peligrosos como ordinarios.
- **Optimización de la Gestión de los Gestores de Residuos:** Se relaciona con un mejor manejo de residuos valorizables con mejores técnicas y maquinaria especializada, que permita una mejor ganancia y mayor cantidad de residuos gestionados efectivamente. También incluye la innovación en tecnologías de reciclaje y valorización de residuos.
- **Promoción de la Economía Circular:** en esta etapa del proceso, la promoción principalmente se centra en impulsar la logística inversa y la reutilización de productos.
- **Monitoreo y Evaluación:** como parte de la mejor constante y la readecuación de los procesos para hacerlos más eficientes, por medio de indicadores clave de desempeño (KPI) para medir el progreso hacia los objetivos establecidos. Dentro de los KPI propuestos por SICR están: cantidad de residuos reciclados, cantidad de nuevos Gestores de Residuos instalados, participación ciudadana en programas de reciclaje, reducción de la cantidad de residuos enviados a vertederos y generación de empleos en el sector del reciclaje.

Estos puntos están sustentados en estrategias claves como la sensibilización y educación, Incentivos Económicos por parte del gobierno o por empresas privadas como parte de la responsabilidad empresarial, investigación y desarrollo constantes como por ejemplo la herramienta SICR y por supuesto, legislación y normativa.

Predicciones y Recomendaciones de la Herramienta SICR

Uno de los resultados esperados de la herramienta SICR es proporcionar predicciones precisas y recomendaciones fundamentadas para maximizar el rendimiento en la gestión de residuos generados en Costa Rica y su integración a la economía circular. A nivel mundial hay un aumento en la generación de residuos electrónicos, el cual no fue estudiado con el presente modelo, sin embargo, en Costa Rica se prevé un aumento importante en la cantidad de residuos sólidos correspondientes a plástico, metal, vidrio, papel y cartón (Figura 2).

A nivel global y nacional, la creciente conciencia ambiental impulsa una demanda cada vez mayor por prácticas empresariales más sostenibles. Los consumidores, especialmente las nuevas generaciones, exigen productos y servicios que minimicen su impacto ambiental. Esta creciente presión está acelerando la transición hacia modelos de producción y consumo más circulares, donde los residuos se reducen al mínimo y los recursos se aprovechan al máximo.

En Costa Rica, como se muestra en el Anexo N, el modelo de recolección de residuos sólidos es complejo ya que contiene una mezcla de procesos oficiales gubernamentales, semiprivados, privados y no oficiales o ilegales. Esa estructura debe ser mejorada y canalizada hacia un sistema más eficiente que pueda dar un mejor manejo a los desechos, y así evitar que estos lleguen a ser vertidos ilegalmente en zonas baldías, lleguen a ríos, o eventualmente al mar.

Como se observa en el Anexo O, dentro de las **predicciones** de SICR:

- En los próximos 3 años se ve claramente un aumento de la producción de residuos sólidos.
- Las provincias con mayor producción de residuos sólidos son Alajuela, Heredia, Cartago y San José.
- Las zonas urbanas tienden a producir más residuos sólidos que las zonas rurales.
- Los Centros de Acopio existentes en el país se centran en Alajuela, donde hay mayor actividad industrial.
- La producción de residuos sólidos en las zonas rurales se centra en las zonas costeras, principalmente debido a la actividad económica pesquera y el turismo.
- La producción de residuos sólidos en las zonas rurales provienen principalmente de la agricultura.

Dentro de las **recomendaciones**⁴ (ENEC, 2019) están:

- Fortalecer la infraestructura de gestión de residuos.
- Promover la economía circular en todos los sectores.
- Incentivar la innovación y la investigación.
- Establecer metas ambiciosas y monitorear el progreso.
- Fomentar la participación ciudadana.
- Promover la colaboración público-privada.

⁴ ENEC. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular de Costa Rica.
<https://minae.go.cr/organizacion/vicegestionestrategica/SEPLASA/Documentos/Estrategia%20National%20Economia%20Circular.pdf>