

# Análisis de flujo de materiales de los envases de cartón para bebidas para producción, consumo y comercio en el Perú durante 2018

## Material flow analysis for production, consumption and trade of beverage carton packaging in Peru during 2018

Amzy Vallenás<sup>1\*</sup>  y Gabriela Velarde<sup>1</sup> 

1 Asociación Civil Recicla Cumples con tu Planeta. Lima, Perú.



**Citar como:** Vallenás, A. y Velarde, G. (2022). «Análisis de flujo de materiales de los envases de cartón para bebidas para producción, consumo y comercio en el Perú durante 2018». *South Sustainability*, 3(1) e052. Disponible en: <https://doi.org/10.21142/SS-0301-2022-e052>

Artículo recibido: 7/12/2021  
Arbitrado por pares  
Artículo aceptado: 11/4/2022



© Las autoras, 2022. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

\*E-mail de correspondencia:  
gabriela.velarde@recicla.org

### RESUMEN

Los envases de cartón para bebidas son utilizados para el almacenamiento de alimentos y bebidas perecibles, a fin de conservar su calidad a lo largo de la cadena de distribución. El descarte de envases posconsumo es una creciente preocupación ambiental, por lo que se busca promover su sostenibilidad mediante estrategias de economía circular. En este contexto se realizó un análisis de flujo de materiales de los envases de cartón para bebidas que circularon en el Perú en 2018, con el objetivo de identificar desafíos y oportunidades para el diseño de estrategias circulares. Los resultados mostraron que la importación de bobinas de cartón para bebidas es el principal flujo de ingreso de envases al mercado, con un volumen de 8835 t de material. El 6 % de los envases de cartón para bebidas colocados en el mercado son reciclados en industrias de papel y cartón, y el restante 94 % se destinó a disposición final en rellenos sanitarios y botaderos. Aunque hay iniciativas de reciclaje de cartón para bebidas promovidas principalmente por el sector privado, existe un potencial de aprovechamiento que podría insertar más de 5000 t de cartón para reciclaje en las industrias de papel y cartón. Los actores clave identificados deben promover acciones desde sus respectivos roles para fomentar la circularidad de estos envases.

**Palabras clave:** cartón para bebidas, análisis de flujo de materiales, economía circular, reciclaje, envases

### ABSTRACT

Laminated cardboard containers for beverages are used for the storage of perishable food and beverages, in order to preserve their quality throughout the distribution chain. The disposal of post-consumer packaging is a growing environmental concern, and the promotion is urgently required of more sustainable packaging through circular economy strategies. In this context, a material flow analysis of the laminated carton packaging that circulated through the Peruvian economy in 2018 was conducted, with the aim of identifying challenges and opportunities for the design of circular strategies. The importation of cardboard coils for beverages constitutes the main flow of containers entering the market, with a total of 8835 tons of material entering during 2018. Only 6% of the beverage cartons that enter the market are recycled by the paper and cardboard industries. The remaining 94% is destined for final disposal in landfills and dumps. Beverage carton recycling initiatives are currently being promoted by the private sector. There is potential for the use of beverage cartons which are currently discarded, which could result in the insertion of more than 5000 tons of cardboard for recycling into the paper and cardboard industries. The key factors identified have the potential to lead to actions for the promotion of packaging circularity.

**Keywords:** Beverage carton packaging, material flow analysis, circular economy, recycling, packaging



## Introducción

Uno de los principales desafíos mundiales hacia el futuro es la correcta disposición de residuos sólidos, causada, entre otros factores, por el gran crecimiento poblacional de las últimas décadas. Estos han ido variando su composición a lo largo del tiempo, lo cual está directamente ligado a los hábitos de consumo de las sociedades (Daskalopoulos, Badr y Probert, 1998). En ese sentido, la porción que corresponde a cada material presente en los residuos domésticos puede variar significativamente en cada localidad, ya que está directamente ligada al estilo de vida de las personas en cada lugar en específico.

Por otro lado, los envases asépticos se utilizan para el almacenamiento de bebidas y alimentos perecibles, de tal manera que se preservan la calidad y las propiedades de los productos colocados en el mercado y a lo largo de la cadena de distribución. De esta forma, aumenta el tiempo en que estos pueden ser almacenados entre su producción y consumo, y se aseguran condiciones higiénicas y de preservación de los productos alimenticios. Sin embargo, una vez consumidos estos productos, los empaques y envases son descartados como residuos domésticos. Así, los residuos de envases y embalajes se han convertido en una creciente preocupación ambiental.

Los envases de cartón para bebidas son un material multilaminado utilizado para el envasado de alimentos líquidos perecibles, como jugos o bebidas lácteas. Este material fue producido por primera vez en 1952 (Zawadiak, 2017) y desde entonces ha evolucionado de su configuración inicial como cartón encerado, a su configuración actual compuesta de capas de cartón, polietileno de baja densidad (PEBD) y aluminio (Al) (Tetra Pak, 2021).

Consecuentemente, las propiedades de los envases de cartón para bebidas, así como su eficacia en la conservación de alimentos, se han traducido en un amplio uso en el mundo. Esto ha llevado a la venta más de 183 billones de empaques de cartón multilaminado para bebidas en 2020 y a tener más de 100 000 unidades de operación a nivel mundial que utilizan este tipo de envases (Tetra Pak, 2021). Pero debido al corto periodo de vida útil de la mayoría de estos bienes de consumo, los envases de cartón para bebidas son rápidamente dispuestos y pueden aportar en la acumulación de residuos sólidos y contaminación ambiental (Neves, 1999). Por lo tanto, es necesario diseñar estrategias para su circularidad.

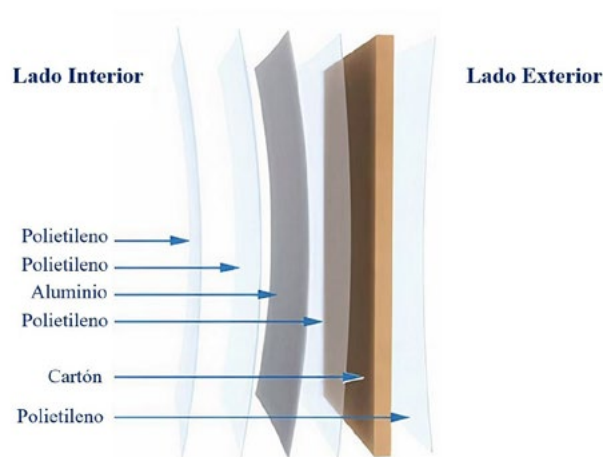
En este contexto, el presente estudio busca analizar una línea base del flujo de envases de cartón para bebidas en el Perú a través de una metodología de análisis de flujo de materiales (AFM), la cual es utilizada para estudiar bajo un enfoque sistemático cómo transitan los materiales a través de su ciclo de vida o económico. Los AFM han sido recientemente usados para el estudio de la realidad

material de los envases y embalajes en el mundo (Millette, Williams y Hull, 2019; Lombardi, Rana y Fellner, 2021; Pimentel Pincelli *et al.*, 2021), lo cual demuestra su utilidad en la identificación de los puntos clave para la gestión de materiales posconsumo y reciclaje, al servir de insumo para el diseño de estrategias comerciales y políticas públicas para la sostenibilidad del sector de envases y embalajes.

## Materiales y métodos

### Cartón para bebidas

Existen diferentes configuraciones de empaques de cartón para alimentos y bebidas en el mercado peruano. El foco del presente estudio son los empaques de cartón para bebidas comúnmente conocidos como Tetra Pak®, los cuales contienen 75 % en peso húmedo de cartón, 20 % de polietileno de baja densidad (PEBD) y 5 % de papel de aluminio (Tetra Pak Internacional, 2020). Estos materiales están normalmente configurados en una estructura de 6 capas, de acuerdo con lo mostrado en la figura 1. Cada



**Figura 1.** Estructura de capas de los envases de cartón para bebidas (Tetra Pak Internacional, 2020).

**Tabla 1.** Identificación de las capas de los envases de cartón para bebidas de afuera hacia adentro (Georgiopoulou *et al.*, 2021).

Capa	Material	Función
1	PEBD	Protege la información impresa y al envase de la humedad y otros impactos externos.
2	Cartón	Asegura la rigidez del empaque y contribuye a la estabilidad y durabilidad del envase. En esta capa se encuentra la impresión del envase.
3	PEBD	Capa de adhesión entre la capa de cartón y la capa de aluminio.
4	Aluminio	Barrera contra la radiación ultravioleta, oxígeno, olores y bacterias.
5	PEBD	Capa de adhesión en la capa de aluminio y la capa de PEBD.
6	PEBD	Actúa como una capa sellante del contenido líquido.

capa cumple una función específica en la preservación de alimentos, las cuales están detalladas en la tabla 1.

### Identificación de actores

A lo largo del ciclo de vida de los productos, diferentes actores interactúan con los materiales e intervienen en su gestión. Por eso, es importante la identificación de estos en la cadena de valor de los materiales. Además, determinar los roles y la responsabilidad de quienes participan dentro de la cadena de gestión de recursos y residuos sólidos contribuye al entendimiento de la realidad y al establecimiento de necesidades y oportunidades para la implementación de estrategias de economía circular (Clark, Trimingham y Storer, 2019).

Los actores fueron identificados bajo la metodología propuesta por Walker, Bourne y Shelley (2008), partiendo del modelo de actores en la industria de envases y embalajes propuesto por Stewart (2012). Este procedimiento busca responder las preguntas: ¿Quiénes son? ¿Cómo interactúan con el material? ¿Cuál es su influencia sobre el destino y el manejo de los materiales y residuos dentro del sistema? A partir del modelo originalmente propuesto, la construcción del mapa de actores fue un proceso reiterativo de adecuación a la realidad peruana, que puede diferir de la de otros países debido al modelo local de mercado y gestión de residuos sólidos. Así, estudiar la realidad nacional bajo metodologías utilizadas en el mundo permite la extrapolación de estrategias para la circularidad de forma acertada y eficaz, considerando los factores locales en la transición a una economía circular.

### Análisis de flujo de materiales (AFM)

El AFM es un análisis sistémico en forma de inventario, el cual analiza el movimiento de los materiales, energía o compuestos que se mueven a lo largo de un proceso, el ciclo de vida de un producto, un sistema económico o similar. El AFM se realizó bajo un modelo estático de los envases y residuos de envases de cartón para bebidas en el Perú durante 2018. El AFM es un método apropiado para obtener una aproximación de la dinámica del material en estudio dentro de una economía en la que la información es escasa, y se puede aplicar para identificar cambios ocasionados por actividades antropogénicas, evaluar la implementación de políticas públicas y asistir la toma de decisiones (Díaz-Gómez y Silva, 2015). Además, los AFM ofrecen una imagen clara de la composición del mercado y las fuentes y puntos de fuga de materiales en un sistema. Por lo tanto, sus resultados pueden ser utilizados para la identificación de oportunidades y el diseño de estrategias circulares para la economía y el manejo de recursos (Millette, Williams y Hull, 2019).

El estudio tuvo un alcance nacional para el material evaluado, incluyendo también las importaciones y exportaciones del material y sus residuos. El balance de masa nacional considera todas las entradas y salidas del

material de los límites del sistema, así como los flujos internos nacionales en el marco de tiempo de 2018. De esta manera se identifican las rutas y los destinos finales de los envases de cartón para bebidas en el contexto peruano.

Para la elaboración de dicho AFM se utilizó la metodología propuesta por Brunner y Rechberger (2017), en la que fueron identificadas cualitativamente las transferencias de material entre los actores del mercado. Los flujos fueron representados en un diagrama a fin de facilitar su posterior cuantificación. Asimismo, fueron consideradas todas las etapas del ciclo de vida del producto dentro de los límites nacionales y los diagramas elaborados fueron validados por los actores de mercado.

Luego, se realizó la cuantificación de los flujos, que permitió precisar las cantidades y los movimientos de material dentro del sistema. Para ello, fueron determinadas las fuentes de información secundaria y primaria, así como las variables generadas a partir del balance de masa del sistema donde, asumiendo un modelo estacionario (Anderberg *et al.*, 1993), se igualan las entradas a las salidas para el cálculo de las incógnitas identificadas.

Los procesos incluidos en el balance nacional de envases de cartón para bebidas corresponden a la producción, la importación, la comercialización, el consumo, el descarte y la disposición de materiales dentro de la economía peruana.

Además, para completar el AFM realizado, fue necesario establecer supuestos, de acuerdo con la metodología propuesta por Millette, Williams y Hull (2019), de tal manera que estos permitan realizar el cálculo en un contexto de información limitada. Dichos supuestos se detallan a continuación.

- Los datos de balances aduaneros son confiables. Se asume que la Superintendencia Nacional de Aduanas y Administración Tributaria (Sunat) es capaz de registrar con precisión los productos que entran y salen del territorio peruano.
- El sistema está en equilibrio. Los flujos de entrada y salida de materiales son estables y los materiales que se colocan en el mercado durante un año son consumidos durante ese tiempo.
- Residuos no cuantificados son liberados al ambiente. Se asume que los residuos reportados como correctamente dispuestos por el Ministerio del Ambiente (Minam, 2019) son aquellos que se destinan a rellenos sanitarios. El balance de los materiales descartados corresponde a todos aquellos que fueron liberados al ambiente, incluyendo fugas y disposiciones inadecuadas a cielo abierto.

### Validación

Una vez realizados los cálculos de balance de masa, estos fueron validados con los principales actores de la cadena de producción y consumo para verificar que

las fuentes de información y los supuestos adoptados proporcionan una representación sensata de la realidad material.

Los resultados de importación de cartón para bebidas fueron validados con el principal importador de cartón para bebidas en el país mediante reuniones, entrevistas y cuestionarios gestionados por la Asociación Civil Recicla.me. El principal importador de cartón para bebidas durante 2018 fue Tetra Pak®. Dicha información fue validada con otras empresas importadoras de cartón para bebidas que actualmente también participan en el mercado peruano.

### Medición de la circularidad

Sobre la base de los resultados obtenidos del AFM realizado, se midió la circularidad del material en el mercado peruano en 2018 a través del indicador de recuperación global (IRG) propuesto por Villalba (2020), el cual se calcula de acuerdo con la ecuación siguiente (Eq. 1).

$$IRG = \frac{\sum \text{Flujos de recuperación}}{\sum \text{Flujos de generación de residuos}} \times 100 \% \quad (1)$$

El IRG es un indicador general de recuperación de residuos que está definido por la fracción que representan los residuos aprovechados sobre la generación total de residuos (Villalba, 2020).

### Resultados

#### Actores clave y sus roles en el mercado del cartón para bebidas

La figura 2 resume los actores clave identificados y sus relaciones a lo largo de la cadena de valor de los envases de cartón para bebidas. Del análisis realizado se identificó la forma en la que los actores interactúan con los envases y su poder de decisión sobre ellos.

En el Perú, no existen registradas empresas que realicen la fabricación de cartón multilaminado para envases para bebidas. Es decir, la totalidad de envases de cartón proviene de la importación de bobinas de cartón multilaminado, la cual es transferida a través del

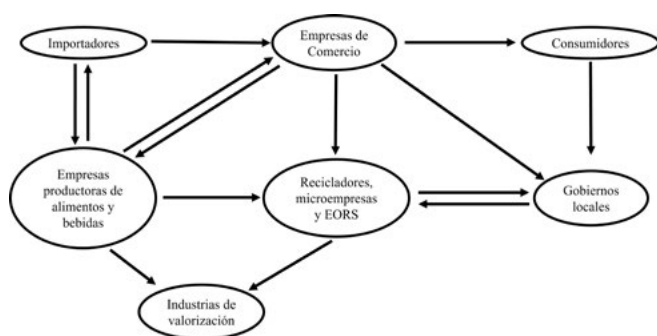


Figura 2. Diagrama de actores clave identificados y sus relaciones.

comercio B2B a las empresas productoras de alimentos y bebidas. Estas últimas adquieren las bobinas de cartón para bebidas según la necesidad de envasar sus productos alimenticios para conservar su calidad de estos hasta su comercialización. Las empresas productoras de alimentos, además, generan una merma industrial durante el proceso de envasado, la cual corresponde a pérdidas durante el arranque de la línea de producción o a fallas en los materiales. Los productos envasados son transferidos a las empresas comercializadoras, las cuales colocan en el mercado los productos nacionales terminados. Asimismo, estas últimas también pueden realizar la importación de productos envasados fuera del país. A través de las empresas comercializadoras, los alimentos y bebidas en envases de cartón multilaminado llegan a los consumidores, quienes descartan los envases una vez cumplida la función de preservar los alimentos. A lo largo de estos procesos existe el descarte de residuos industriales, tales como las mermas generadas durante el proceso de envasado, así como las pérdidas y el consumo realizados en las empresas de comercialización. Estos son gestionados por los generadores a través de Empresas Operadoras de Residuos Sólidos (EORS), que se encargan de su transporte y disposición o comercialización. Los consumidores, en cambio, descartan sus desechos como residuos municipales, los cuales son gestionados a través de los gobiernos locales. Los gobiernos locales se encargan de la recolección, el transporte, la disposición y el aprovechamiento de los residuos domésticos, lo cual puede realizarse en alianzas público-privadas con EORS o en convenios establecidos con organizaciones de recicladores. Finalmente, el aprovechamiento de los residuos de envases de cartón para bebidas se realiza bajo la modalidad de reciclaje de ciclo abierto; es decir, son transformados en los procesos de fabricación de productos diferentes al original, los cuales aprovechan total o parcialmente los materiales originales que componen el envase. Las industrias de valorización adquieren el material a recuperar de diversas fuentes, que incluyen la comercialización directa por organizaciones como las empresas productoras de bebidas, o a través de empresas intermediarias, EORS, o asociaciones de recicladores que trabajan con municipalidades, quienes acopian y empaacan el material previamente a su comercialización para valorización. La tabla 2 resume los actores identificados y sus roles en el mercado de envases de cartón para bebidas.

#### Análisis de flujo de materiales de cartón para bebidas

A partir de la identificación de actores clave y sus interacciones, fueron cualitativamente identificados los flujos de materiales que corresponden al movimiento de envases de cartón para bebidas dentro del mercado peruano. A partir de esto, se elaboró el diagrama simplificado mostrado en la figura 3, que detalla los procesos considerados en el presente estudio. Así, cada flujo de material fue nombrado con una letra para luego

identificar las fuentes de información secundaria o primaria y las ecuaciones asociadas a los balances de masa para el análisis cuantitativo del sistema. La descripción de dichos flujos y sus respectivas fuentes de información y ecuaciones son especificadas en la tabla 3.

**Tabla 2.** Actores clave identificados y sus roles.

Actor	Rol e intereses
Importadores	Importadores de bobinas: ingresan los envases de cartón para bebidas al país mediante comercio B2B. Buscan proveer de envases a la industria de alimentos y bebidas. Importadores de alimentos: ingresan productos envasados en cartón para bebidas. Pueden realizar actividades B2B y B2C. Buscan colocar alimentos perecibles en el mercado que no se producen localmente.
Empresas productoras de alimentos y bebidas	Adquieren los envases de cartón para bebidas para envasar sus productos asegurando su calidad y seguridad a lo largo de la cadena de distribución. Su objetivo es proveer al mercado de productos alimenticios.
Empresas de comercio	Distribuyen y realizan el comercio minorista de productos nacionales e importados envasados en cartón para bebidas. Realizan comercio B2C y son quienes tienen contacto directo con los consumidores en los puntos de venta.
Consumidores	Adquieren productos en envases de cartón para bebidas. Buscan abastecerse de alimentos perecibles en buen estado y que puedan ser almacenados dentro de sus hogares hasta su consumo.
Gobiernos locales	Son los responsables de la gestión de residuos domésticos. Incluyendo la recolección, recolección selectiva y disposición final o tratamiento.
Asociaciones y microempresas de recicladores	Son las organizaciones que buscan recolectar los envases de cartón para bebidas posconsumo para comercializarlos y reciclarlos. Trabajan en el mercado informal o en alianza con municipalidades para la recolección selectiva de residuos posconsumo. Buscan tener acceso a mayores cantidades de materiales reciclables para comercialización.
Empresas Operadoras de Residuos Sólidos (EORS)	Son empresas autorizadas por el Ministerio del Ambiente para realizar la recolección, el transporte, la comercialización y la disposición de residuos sólidos. Proveen del servicio de transporte y disposición de residuos a los generadores no municipales, y trabajan en alianzas público-privadas junto con los gobiernos locales para proveer el servicio de transporte de residuos domésticos y limpieza urbana.
Industrias de valorización	Adquieren los residuos industriales y residuos posconsumo de envases de cartón para bebidas para aprovechamiento total o parcial de sus componentes. Obtienen los materiales desde las empresas productoras de alimentos, las asociaciones de recicladores, las empresas de reciclaje o las EORS. Buscan incrementar su competitividad al reducir costos de adquisición de materias primas incorporando materiales reciclados en sus productos, reemplazando total o parcialmente el consumo de recursos vírgenes dentro de sus procesos.

**Tabla 3.** Descripción de flujos másicos cuantitativos de envases de cartón para bebidas en el Perú en 2018 y fuentes de información asociadas.

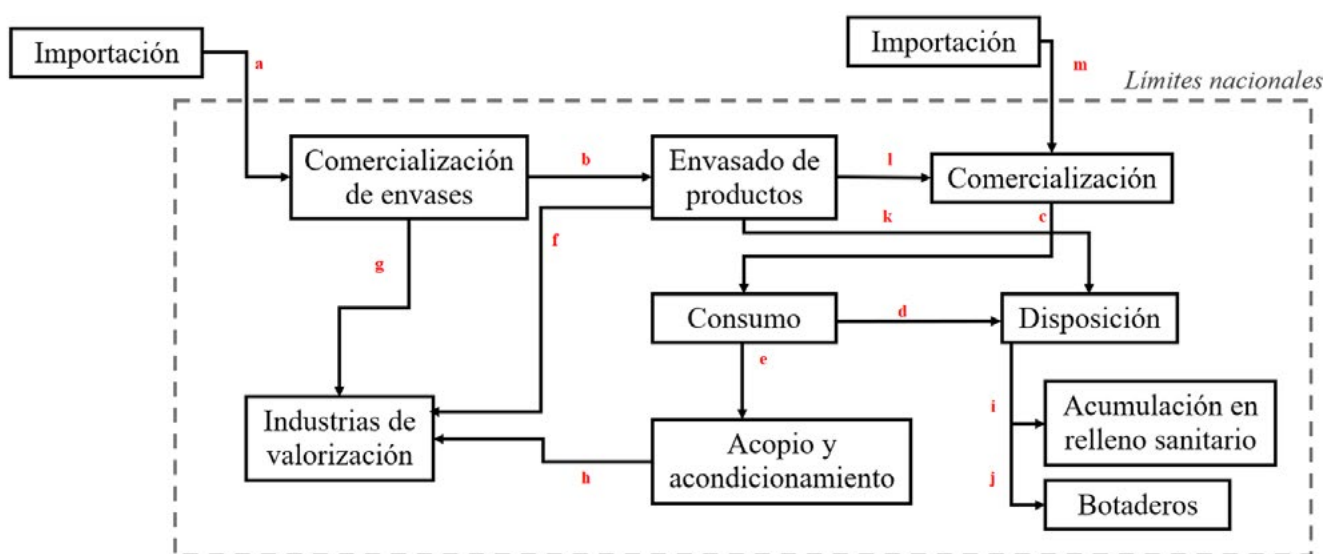
Flujo	Descripción	Fuente de información o ecuación de balance de masa
a	Envases de cartón para bebidas importados en bobinas	Base de datos de importación y exportación de la Sunat utilizando las subpartidas correspondientes al producto (Sunat, 2021).
b	Envases de cartón para bebidas comercializados a industrias de alimentos y bebidas	a - g
c	Envases de cartón para bebidas que son colocados en el mercado peruano para consumo	b - f - k + m
d	Envases de cartón para bebida que son descartados en un mismo año	c - e
e	Material posconsumo recolectado y acopiado para aprovechamiento	Según el Minam (2019), en 2018 aproximadamente 340 t de cartón para bebidas fueron recolectadas por los programas municipales de segregación en la fuente. Sin embargo, se sabe que el reporte municipal se basa en estudios de caracterización; por lo tanto, para confirmar esta cifra se utilizó la ecuación h - f, de balance de masa, para una estimación más precisa del flujo.
f	Pérdidas durante el proceso de envasado de bebidas que es destinada a recuperación	Según los entrevistados, alrededor del 1 % y 2 % del cartón para bebidas en bobinas se pierde durante el proceso de envasado; además, 3 de cada 5 empresas destina este material al reciclaje (Vásquez, 2021, comunicación personal).
g	Pérdidas durante la importación y comercialización de bobinas de envases de cartón para bebidas	Las pérdidas de envases durante la importación y comercialización son despreciables y son destinadas directamente a las empresas productoras de alimentos y bebidas (Vásquez y Torres, 2021, comunicación personal).
h	Material comercializado por centros de acopio, EOR, recicladores y otros, destinado al aprovechamiento	Tetra Pak Perú promueve y monitorea el material reciclado de envases de cartón para bebidas. En 2018 identificó 562 t aprovechadas de fuentes municipales y no municipales (Torres, 2021, comunicación personal).
i	Material dispuesto en relleno sanitario	Según el Minam (2019), el 52 % de los residuos domésticos recolectados es destinado a disposición en rellenos sanitarios.
j	Material liberado al ambiente o incorrectamente dispuesto	Según el Minam (2019), el 48 % de los residuos domésticos recolectados es destinado a disposición en botaderos no controlados.
k	Pérdidas durante el proceso de envasado que no son destinadas a reciclaje o aprovechamiento	Según los entrevistados, alrededor del 1 % y 2 % del cartón para bebidas en bobinas se pierde durante el proceso de envasado; además, 2 de cada 5 empresas destina este material a disposición final (Vásquez, 2021, comunicación personal).



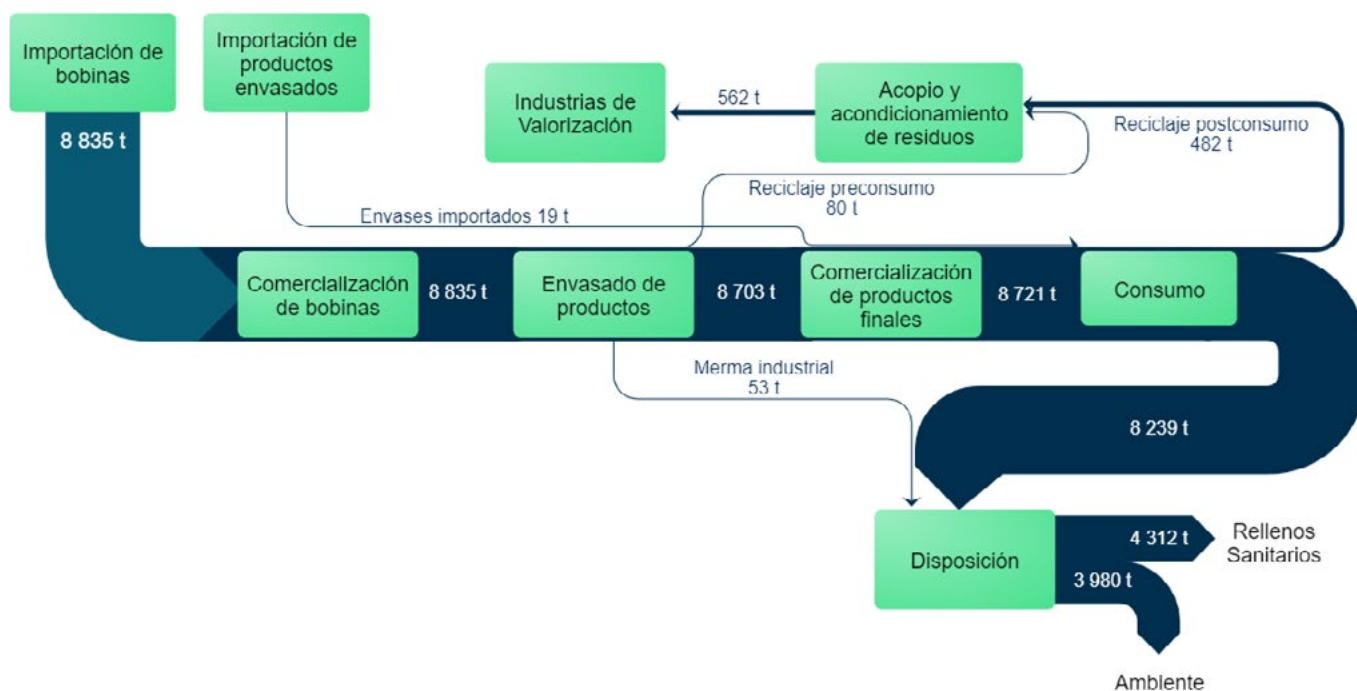
l	Envases de cartón para bebidas que son colocados en el mercado por los productores nacionales	b - f - k
m	Envases de cartón para bebidas importados en productos envasados	Base de datos de importación y exportación de la Sunat utilizando las subpartidas correspondientes al producto (Sunat, 2021).

De esta manera, el diagrama de flujo cuantitativo (figura 3) fue completado con la información disponible y mediante ecuaciones de balance de masa. Luego, la validación permitió el ajuste de las cifras calculadas.

Los resultados cualitativos son presentados en el diagrama de Sankey mostrado en la figura 4. Mediante el AFM se determinó que, durante 2018, ingresaron 8835 t de bobinas de cartón para bebidas al Perú mediante la importación de este material. Además, ingresaron aproximadamente 19 t de envases de cartón para bebidas en productos manufacturados ya envasados.



**Figura 3.** Diagrama simplificado descriptivo del modelo del flujo del cartón para bebidas en el Perú durante 2018.



**Figura 4.** Diagrama de Sankey del flujo de balance de material de los envases de cartón para bebidas en el Perú durante 2018 (t/año).

Dentro del mercado peruano, las bobinas importadas fueron destinadas a las industrias de fabricación de alimentos y bebidas, donde se pierde entre 1 % y 2 % del material. Si bien algunas empresas realizan la comercialización de este *scrap*, 2/5 del material posindustrial es enviado a disposición final. Los productos envasados dentro del país y los productos importados envasados en cartón para bebidas son colocados en el mercado y descartados en el mismo año, lo que genera un total de 8854 t de residuos de estos envases. De estos, 133 t corresponden a residuos industriales generados durante el proceso de envasado, de los cuales se aprovechan 80 t y se disponen 53 t. Por otro lado, se generan 8721 t de residuos de envases de cartón para bebida en los hogares peruanos, de los cuales 8239 t (94 %) son destinados a disposición final y solo 482 t (6 %) son recolectados para el reciclaje posconsumo de estos envases. En total, 562 t de envases de cartón para bebidas fueron acopiadas, recolectadas y comercializadas para el reciclaje en industrias de valorización, incluyendo los materiales provenientes de fuentes industriales, municipales y minoristas. La valorización de envases de cartón para bebidas se realiza en ciclo abierto y la fracción de cartón es aprovechada por las industrias de fabricación de productos de papel y cartón. Finalmente, fueron destinadas 8292 t de residuos de cartón para bebidas a disposición final, de las cuales 4312 t fueron dispuestas en rellenos sanitarios y 3980 t fueron liberadas al ambiente por fugas o disposición incorrecta de residuos en botaderos. Cabe resaltar, además, que no existe registro de la importación o exportación de residuos de envases de cartón para bebidas.

### Medición de la circularidad

Además, se midió la circularidad utilizando el índice de recuperación global (IRG), de acuerdo con el siguiente cálculo (Eq. 2):

$$\text{IRG} = \frac{562 \text{ t}}{8854 \text{ t}} \times 100 \% = 6,35 \% \quad (2)$$

El IRG para los envases de cartón para bebidas en el Perú en 2018 fue de 6,35 %. Es decir, esta fracción de los envases fue recolectada, acondicionada y comercializada con industrias nacionales de papel y cartón para su reciclaje.

### Discusiones

La gestión de residuos sólidos ha sido reconocida por las Naciones Unidas en la Agenda a 2030 como uno de los componentes clave en el desarrollo sostenible (ONU, 2015). El crecimiento poblacional actual está directamente ligado al consumo de bienes y alimentos, y representa un gran desafío en este sentido. Por lo tanto, es importante trazar estrategias de circularidad que permitan gestionar los recursos y materiales de una manera sostenible. Con ese objetivo, los AFM pueden ser utilizados para

producir inventarios nacionales de flujos de materiales y recursos que circulan en la economía que permitan trazar estrategias para la gestión de residuos y la economía circular (UNEP y ISWA, 2015).

Sin embargo, la aplicación de esta metodología es comúnmente afectada por la falta de información disponible (Lombardi, Rana y Fellner, 2021). La validación cruzada con los diferentes actores de la cadena desde la importación de envases hasta la disposición de residuos es un aspecto vital para apuntar a reducir las incertezas de los cálculos presentados. Por ejemplo, los estudios de caracterización municipales indican un 0,6 % de envases de cartón para bebidas en los residuos municipales, lo cual, multiplicado por la generación total de residuos domésticos (7 374 830 t en 2018 según el Minam [2019]), significaría una generación de más de 40 000 t de envases de cartón para bebidas posconsumo (Minam, 2019). Sin embargo, esta cifra es elaborada a partir de estimaciones de estudios de caracterización que se realizan en limitados distritos a nivel nacional y, por lo tanto, introduce error en las estimaciones a nivel nacional. Para corroborar los datos obtenidos, estos fueron cruzados con diversas fuentes y considerando, bajo un enfoque de balance de masas, que los envases dispuestos deben ser los que ingresaron al mercado nacional pero no lograron recuperarse.

Además, la cifra de envases recuperados (562 t) corresponde a la comercialización total de envases de cartón para bebidas, incluyendo fuentes domésticas y no domésticas. Los medios por los cuales este material llega a las empresas transformadoras son diversos, incluyendo comercialización de residuos industriales, organizaciones públicas y privadas, programas de segregación en la fuente municipales, recicladores formales y recicladores informales. Según los registros del Minam, en 2018 fueron comercializadas 340 t de envases de cartón para bebidas a través de los programas municipales de segregación en la fuente (Minam, 2019). Por lo tanto, la diferencia entre el total y los residuos aprovechados de fuentes conocidas nos indica que existen aproximadamente 142 t de residuos comercializados cuya procedencia es difusa, ya que pueden incluir instituciones individuales, recicladores independientes o recicladores informales. Las actividades informales y los flujos de materiales asociados a ellos no han sido considerados en el presente estudio, a pesar de que pueden presentar comportamientos cíclicos. Se sabe, además, que los recicladores de base mezclan los envases de cartón para bebidas en el cartón para reciclaje. Se estima que esta práctica puede llegar a aprovechar hasta 152 t/año de envases de cartón para bebidas, que son comercializados dentro de pacas de cartón (Vásquez, 2021, comunicación personal). Por eso, una parte vital de la implementación de estrategias de economía circular es asegurar la formalización de los recicladores y la implementación de sistemas de manejo de información que permitan la trazabilidad de los materiales en el mercado del reciclaje (Pimentel Pincelli *et al.*, 2021).



Del AFM realizado, se observa que la principal fuente de los envases de cartón para bebidas en el mercado peruano es la importación de bobinas comercializadas B2B. Esto indica la responsabilidad sobre los actores que comercializan y consumen estos materiales para implementar estrategias de ecodiseño en la fabricación de envases y envasado de alimentos perecibles, y se refleja en las iniciativas privadas para la innovación en el desarrollo de envases que incluyan fuentes sostenibles de materiales y cuenten con características tecnológicas que aseguren el almacenamiento y la empleabilidad de los productos.

En cuanto a las fugas del sistema, se observa que la mayoría de este material (94 %) es destinado a disposición final, ya sea en rellenos sanitarios o liberados en botaderos controlados y no controlados, y solo el 6 % (562 t) de los envases de cartón para bebidas puestos en el mercado son reciclados en las industrias de papel y cartón. Esto se debe a dos principales focos de fuga: la recolección selectiva y la comercialización para reciclaje de los envases de cartón para bebidas. Durante mucho tiempo, los envases de cartón para bebidas fueron vistos como un material que no era posible reciclar y por eso aún existe gran confusión entre los consumidores (Zawadiak, 2017). Además, la educación al consumidor para la segregación de los envases es un punto clave para captar un mayor volumen de material posconsumo, mediante la implementación de puntos de colecta en organizaciones o lugares donde se genera una gran cantidad de este material (Martinez *et al.*, 2021). Por otro lado, muchos recicladores aún desconocen que pueden comercializar los envases de cartón para bebidas, pero no cuentan con espacio para el acopio del material, por lo que dan preferencia a los materiales que saben que tienen un mayor valor o que son más fácilmente comercializados (ECI y ALWA, 2018). Ante esto, las iniciativas privadas en el Perú apuntan a promover el reciclaje de los envases de cartón para bebidas, lo que facilita las relaciones entre los generadores de residuos, los recicladores y las empresas transformadoras. Se identifican dificultades en el proceso de recolección y segregación, y se promueve el aprovechamiento total de los materiales que componen los envases de cartón para bebidas.

Actualmente los envases de cartón para bebidas pueden ser aprovechados parcial o completamente. Esto ocurre al separar la fracción de cartón de la fracción de polialuminio del material. La utilización de la fracción de polialuminio de los envases de cartón para bebidas como materia prima para la fabricación de compósitos de matriz polimérica/metálica ofrece una solución baja en costo y muestra potencial para diversas aplicaciones a partir de procesos de reciclaje (Lopes y Felisberti, 2006). La fibra de cartón secundaria es utilizada en la fabricación de nuevos productos de papel y cartón, mientras que el polialuminio era exportado o dispuesto en un relleno sanitario debido a limitantes tecnológicas en el país en 2018. Sin embargo, hoy en día el polialuminio también es recuperado en

el mercado nacional en la fabricación de planchas de polialuminio, techos verdes y carretes industriales (Torres, 2021, comunicación personal).

A pesar de estas dificultades, existen mecanismos de economía circular en el mercado de envases de cartón para bebidas en el Perú. Todas son promovidas por actores del sector privado, lo que permite una tasa de recuperación del 6,3 % durante 2018. Este porcentaje es significativamente mayor que la fracción de residuos sólidos municipales reciclados en el país, 1 % (Defensoría del Pueblo, 2019; Minam, 2019). Sin embargo, es menor que el de otros materiales reciclables en el mercado peruano, como el vidrio (Díaz, Velarde y Lino, 2021) y el plástico (Díaz, Velarde y Lino, 2020) y menor que las tasas de recuperación que este mismo material tiene en otros países. Por ejemplo, en Brasil, la tasa de recuperación de envases de cartón para bebidas fue de 31 % en 2019 (Brasil, 2021) e incrementó de 2 % en 2000 a 22 % en 2004, debido a la implementación de programas de colecta selectiva de envases de cartón para bebidas (Mourad *et al.*, 2008). Algunas de las estrategias implementadas para este fin incluyen políticas públicas, como la ley que menciona la responsabilidad compartida por el ciclo de vida de los productos, así como administrativas y de logística reversa, como la implementación de puntos de colecta voluntaria.

A partir de los resultados obtenidos se identificó que el punto de fuga de los envases de cartón para bebidas es el de recolección y comercialización para reciclaje. De impulsarse estrategias que permitan mejorar este punto de la cadena, el contenido de cartón de los envases de cartón para bebidas posconsumo podría aprovecharse. Esto quiere decir que el 71 % de la masa —según la composición másica promedio de los envases de cartón para bebidas (Tetra Pak Internacional, 2020)— de los residuos de envases de cartón para bebidas no aprovechados representarían hasta 5887 t de fibra secundaria de cartón, que podrían insertarse en la fabricación de productos de cartón y papel, lo que reduciría la demanda por fibra de celulosa virgen y, consecuentemente, la demanda de extracción de recursos forestales. Esto demuestra el potencial existente en el Perú para la recuperación de materiales y la necesidad de fortalecer el sistema de reciclaje y gestión de residuos sólidos como pieza fundamental en la promoción de la economía circular.

## Conclusiones

Durante 2018, 8721 t de envases de cartón para bebidas circularon en el mercado peruano, principalmente tras ingresar a través de la importación de bobinas de cartón multilaminado como suministro para las empresas de alimentos y bebidas. El 6,3 % del material que ingresó al país fue aprovechado en procesos de reciclaje de ciclo abierto en la industria del papel y cartón. Los esfuerzos realizados por recuperar los envases de cartón para bebidas corresponden a iniciativas privadas, a pesar de no existir actualmente ninguna obligación legal.



El reciclaje de envases de cartón para bebidas en el mercado nacional tenía como principal mercado final la producción de productos de papel y cartón; sin embargo, la implementación de nuevas tecnologías para reciclaje ahora permiten también el aprovechamiento de la fracción de polialuminio de los envases.

Existe la posibilidad de incrementar los envases de cartón para bebidas que son reciclados. El aprovechamiento de los envases de cartón para bebidas podría reinsertar más de 5000 t de cartón por año a las industrias de papel y cartón, y así contribuir a la circularidad de los materiales. Para lograr tasas más altas de recuperación es necesario atender la recolección selectiva de residuos posconsumo, a fin de incrementar la comercialización del material en el mercado de reciclaje y evitar así la disposición final de los envases.

Por otro lado, los actores de la cadena identificados deben colaborar desde su rol y responsabilidad para contribuir a la cadena de reciclaje y gestión de residuos sólidos en el Perú y, de este modo, promover su sostenibilidad. Con ello, se espera que los resultados obtenidos sirvan de línea base para el monitoreo de iniciativas públicas y privadas en la promoción del reciclaje de los envases de cartón para bebidas.

## Agradecimientos

El desarrollo de la investigación de los flujos de cartón para bebidas fue realizado y financiado por Reciclame. Se agradece la información y las recomendaciones brindadas por Carlos Vásquez, así como la institución de la cual es colaborador: Tetra Pak Perú. Los autores también agradecen a Andrea Torres.

## Conflictos de interés

Reciclame es una asociación civil sin fines de lucro que agrupa diferentes empresas privadas, quienes comparten un interés común por el desarrollo de estrategias sostenibles en pro del ambiente y el reciclaje en el Perú. Las empresas que agrupa Reciclame son: Coca-Cola, San Miguel Industrias PET-SMI, Owen-Illinois, Tetra Pak®, Diageo, Backus, Heinz-Glas Perú, Industrias del Envase, Natura Perú, Peruana de Moldeados (Pamolsa), Corporación Peruana de Productos Químicos (Qroma), Aje Group y Nestlé.

## Contribución de los autores

A. V.-A. reunió la información presentada en el estudio, desarrolló los cálculos y el análisis presentado, verificó los métodos y resultados, escribió el manuscrito.

G. V. realizó la concepción de la idea, verificó los resultados obtenidos, revisó y editó el manuscrito, supervisó el proyecto.



## Referencias bibliográficas

- Anderberg, S., Bauer, G., Ermoliev, Y. y Stigliani, W. M. (1993).** «Mathematical tools for studies of industrial metabolism». IIASA Working Paper WP-93-9.
- Brasil, T. P. (2021).** «Newsletter de sustentabilidade», p. 2.
- Brunner, P. H. y Rechberger, H. (2017).** *Handbook of material flow analysis. For environmental, resource, and waste engineers*. Boca Ratón: Taylor & Francis. DOI: [10.1007/978-3-319-95726-5\\_300088](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95726-5_300088)
- Clark, N., Trimmingham, R. y Storer, I. (2019).** «Understanding the views of the UK food packaging supply chain in order to support a move to circular economy systems». *Packaging Technology and Science*, 32(11), pp. 577-591. DOI: [10.1002/pts.2474](https://doi.org/10.1002/pts.2474)
- Defensoría del Pueblo. (2019).** «Informe Defensorial N.º 181. ¿Dónde va nuestra basura? Recomendaciones para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales». Lima: Defensoría del Pueblo.
- Díaz-Gómez, J. y Silva, J. (2015).** «Análisis de flujo de materiales en sistemas humanos: una revisión». *Revista EIA*, (23), pp. 149-161.
- Díaz, R., Velarde, G. y Lino, G. (2020).** «Análisis de flujo de materiales de plásticos para la producción, consumo y comercio de envases rígidos del polietileno de teraftalato (PET) en Perú durante el 2018». *La Saeta Universitaria*, 9(2), pp. 15-38.
- Díaz, R., Velarde, G. y Lino, G. (2021).** «Análisis de flujo de materiales de envases de vidrio para producción, consumo y comercio en Perú durante el 2018». *South Sustainability*, 2(1). DOI: [10.21142/SS-0201-2021-002](https://doi.org/10.21142/SS-0201-2021-002)
- Diop, C. I. K., Lavoie, J. M. y Huneault, M. A. (2017).** «Separation and reuse of multilayer food packaging in cellulose reinforced polyethylene composites». *Waste and Biomass Valorization*, 8(1), pp. 85-93. DOI: [10.1007/s12649-016-9605-2](https://doi.org/10.1007/s12649-016-9605-2)
- ECl y ALWA. (2018).** «Evaluación del potencial de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) producto del aprovechamiento de residuos sólidos. Producto 2: Balance de masa para la gestión de residuos aprovechables». Lima, Perú.
- Georgiopolou, I., Pappaa, G., Vouyioukab, S. y Magoulasa, K. (2021).** «Recycling of post-consumer multilayer Tetra Pak® packaging with the Selective Dissolution-Precipitation process», *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 165, p. 105268. DOI: [10.1016/j.resconrec.2020.105268](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105268)
- Lombardi, M., Rana, R. y Fellner, J. (2021).** «Material flow analysis and sustainability of the Italian plastic packaging management». *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 287, p. 125573. DOI: [10.1016/j.jclepro.2020.125573](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125573)
- Millette, S., Williams, E. y Hull, C. E. (2019).** «Materials flow analysis in support of circular economy development: Plastics in Trinidad and Tobago». *Resources, Conservation and Recycling*, 150(August). DOI: [10.1016/j.resconrec.2019.104436](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104436)
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2019).** «Base integrada de residuos sólidos del periodo 2018». Lima: Minam.
- Neves, F. L. (1999).** «A reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak». *O Papel*, 53(2), pp. 38-45.
- Organización de las Naciones Unidas, ONU. (2015).** *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (No.A/RES/70/1)*, UN General Assembly. DOI: [10.1163/157180910X12665776638740](https://doi.org/10.1163/157180910X12665776638740)
- Pimentel Pincelli, I., Borges de Castilhos Júnior, A., Seleme Matias, M. y Wanda Rutkowski, A. (2021).** «Post-consumer plastic packaging waste flow analysis for Brazil: The challenges moving towards a circular economy», *Waste Management*. Elsevier Ltd, 126, pp. 781-790. DOI: [10.1016/j.wasman.2021.04.005](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.005)
- Stewart, B. (2012).** «Packaging design and development». *Packaging Technology: Fundamentals, Materials and Processes*, pp. 411-440. DOI: [10.1533/9780857095701](https://doi.org/10.1533/9780857095701)
- Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, Sunat. (2021).** Operatividad aduanera. Disponible en: <https://www.sunat.gob.pe/operatividadaduanera/index.html>
- Tetra Pak Internacional. (2020).** *Packaging material for Tetra Pak carton packages*. Disponible en: <https://www.tetrapak.com/solutions/packaging/packaging-material/materials#>
- UNEP y ISWA. (2015).** *Global Waste Management Outlook*. Viena: International Solid Waste Association.
- Villalba, L. (2020).** «Material Flow Analysis (MFA) and waste characterizations for formal and informal performance indicators in Tandil, Argentina: Decision-making implications». *Journal of Environmental Management*, 264, p. 110453. DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.110453](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110453)
- Walker, D. H. T., Bourne, L. M. y Shelley, A. (2008).** «Influence, stakeholder mapping and visualization». *Construction Management and Economics*, 26(6), pp. 645-658. DOI: [10.1080/01446190701882390](https://doi.org/10.1080/01446190701882390)
- Zawadiak, J. (2017)** «Tetra Pak Recycling - Current Trends and New Developments». *American Journal of Chemical Engineering*, 5(3), p. 37. DOI: [10.11648/j.ajche.20170503.12](https://doi.org/10.11648/j.ajche.20170503.12)