

# PROPUESTA DE ECONOMÍA CIRCULAR PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CAFÉ EN CAFETERÍAS DE LA CIUDAD DE LIMA EN PERÚ

BERTHA DÍAZ-GARAY\*

<https://orcid.org/0000-0002-8409-3210>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería,  
Lima, Perú

GIANCARLO MEDROA DELGADO

<https://orcid.org/0000-0003-0175-0973>

Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas,  
Lima, Perú

JOSÉ ANTONIO TAQUÍA GUTIÉRREZ

<https://orcid.org/0000-0002-1711-6603>

Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería,  
Lima, Perú

JUAN M. CORIAT NUGENT

<https://orcid.org/0000-0003-1248-7138>

Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas,  
Lima, Perú

Recibido: 6 de marzo del 2024 / Aceptado: 16 de abril del 2024

Publicado: 12 de junio del 2024

doi: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2024.n046.7010>

**RESUMEN.** El procesamiento del café para el consumo en cafeterías genera importantes cantidades de residuos, principalmente, cascarillas de café que, al ser tostadas, molidas y pasadas por las máquinas cafeteras, generan café gastado. Entonces, el problema es que no se cuenta con una adecuada gestión de dichos residuos ni son cuantificados; por ello, en este artículo se busca identificar alternativas de solución frente a tal problemática.

---

Este estudio no fue financiado por ninguna entidad.

\* Autor corresponsal.

Correos electrónicos en orden de aparición: [Bdiaz@ulima.edu.pe](mailto:Bdiaz@ulima.edu.pe); [gmeddel@ulima.edu.pe](mailto:gmeddel@ulima.edu.pe); [Jtaquia@ulima.edu.pe](mailto:Jtaquia@ulima.edu.pe); [jcoriat@ulima.edu.pe](mailto:jcoriat@ulima.edu.pe)

Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Este estudio tiene un alcance exploratorio, para lo cual se utiliza una encuesta con una muestra obtenida por conveniencia de 18 cafeterías, de los cuales se obtuvo información sobre el interés de participar en un modelo de recolección de residuos de café. Asimismo, se utilizó un modelo de conglomerados para identificar la mejor manera de recolectar los residuos, para ello se determinó la ubicación de 72 cafeterías en la zona de estudio. Como resultado, se concluye que existe interés en la reutilización del café gastado aplicando un adecuado modelo de recojo de residuos por conglomerados.

PALABRAS CLAVE: economía circular / café gastado / gestión de residuos / *clusters*

## CIRCULAR ECONOMY PROPOSAL FOR THE MANAGEMENT OF COFFEE WASTE IN COFFEE SHOPS IN THE CITY OF LIMA IN PERU

**ABSTRACT.** The processing of coffee for consumption in cafeterias generates significant amounts of waste, mainly coffee husks that, when roasted, ground and passed through coffee machines, generate spent coffee. The problem found is that there is no adequate management of this waste, nor are the waste generated quantified. This research seeks to identify alternatives to solve this problem. The research has an exploratory scope, using a survey with a convenience sample of 18 coffee shops, to obtain information about the interest in participating in a coffee waste collection model. Likewise, a cluster model was used to identify the best way to collect waste, for this the location of 72 cafeterias in the study area was determined. As a result, it is concluded that there is interest in the reuse of spent coffee by applying an appropriate waste collection model by conglomerates.

**KEYWORDS:** circular economy / spent coffee / waste management / *clusters*

## 1. INTRODUCCIÓN

El café es reconocido como una de las bebidas más consumidas a nivel mundial; además, contribuye a la rotación de la economía por ser un *commodity* con un alto nivel de comercialización (García & Kim, 2021). El café es “una de las bebidas más populares y es el segundo producto comercial más importante después del petróleo” (Murthy & Madhava, 2012, p. 45). Es producido en más de ochenta países y, solo en Europa, que es el continente con mayor consumo de café per cápita, se consumen 2,52 millones de toneladas al año. Alrededor de este producto, se generan varios negocios para pequeñas y medianas empresas, por lo que este producto es determinante para el desarrollo económico de los países productores y consumidores. Sin embargo, el alto consumo de café también genera altos volúmenes de residuos orgánicos que son tóxicos y que representan un impacto en el medio ambiente (Mussatto et al., 2011); por ello, también se han explorado los esfuerzos para abordar el impacto medioambiental del consumo de café. Los estudios han evaluado las cuestiones de sostenibilidad a lo largo de la cadena del café y se ha hecho hincapié en la importancia de la certificación y en las prácticas sostenibles desde el cultivo hasta el consumo (Barreto Peixoto et al., 2023).

El procesamiento y consumo de café da lugar a cantidades sustanciales de residuos, principalmente, cáscara de las semillas de café que, al momento de tostarlo, molerlo y pasarlo en máquinas cafeteras, generan los residuos de café gastado: *spent coffee ground* (SCG). Por cada kilogramo de café pasado, se genera alrededor de dos kilogramos de SCG húmedo. De estos, alrededor del 46 % se vierte en los contenedores de basura, lo que aumenta la contaminación del suelo, el agua y el aire. Por lo tanto, es necesaria una solución alternativa para los grandes volúmenes de SCG (San Martín et al., 2021). El gran volumen de residuos de café generados a nivel mundial, estimado en más de dos millones de toneladas anuales, resalta la importancia de desarrollar estrategias eficaces de gestión de residuos dentro de la industria del café (Thriveni et al., 2017). Frente a ello, se afirma que la problemática de los SCG puede ser superada aplicando conceptos de la economía circular. Para ello, el análisis de las propuestas que resuelvan el problema directamente es de suma importancia para la sociedad y los modelos de negocio que se puedan desarrollar a raíz de estas propuestas (Ferasso et al., 2020).

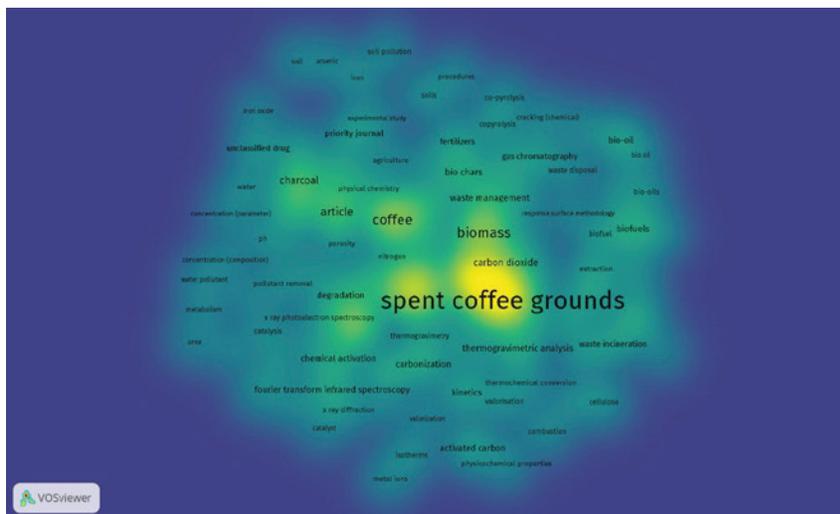
Los SCG son una fuente importante de biorresiduos, pues tienen potencial para aplicarse de manera diversa y poder mitigar la contaminación ambiental. Por ejemplo, los estudios han demostrado que los SCG pueden utilizarse como fuente de energía verde, y es el biodiésel derivado de ellos una alternativa prometedora frente al diésel tradicional (Kondamudi et al., 2008). Además, la extracción de antioxidantes y compuestos fenólicos de los SCG demuestra su valor en la elaboración de productos beneficiosos (Panusa et al., 2013). Por otra parte, la aplicación de una economía circular contribuye a la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, y desempeña un papel crucial en la





**Figura 3**

*Resultado del análisis bibliométrico (tercera búsqueda)*



Nota. Elaborado con el análisis bibliométrico de 160 artículos científicos de la base de datos Scopus.

En la Figura 3 se evidencia la relación entre los SCG y las energías renovables. En una revisión sistemática, por ejemplo, se indica que los SCG pueden ser el insumo para la elaboración de vasos descartables y otras formas de paquetes utilizados en diversas industrias (García & Kim, 2021).

### 1.1 Residuos de café gastado y su potencial utilización

Luego de desarrollar el análisis bibliométrico de los residuos de café y su potencial uso en diversas industrias, se aprecia diversas oportunidades donde dichos residuos serían de gran utilidad para la economía local. Los usos potenciales de los residuos del café van desde energía hasta nutracéuticos y materiales de construcción (McNutt & He, 2019). A su vez, se afirma que, a partir de estos residuos, se puede desarrollar biodiésel, bioaceites y biocarbón (Leow et al., 2021). Estos productos derivados representan una oportunidad para que los negocios de cafeterías, adaptados a una economía lineal, giren hacia una economía circular, en la que una adecuada gestión de residuos convierta desechos en productos o recursos nuevos para la misma u otras industrias (Stahel, 2016).

Por su parte, el biodiésel es una alternativa de energía renovable para diversas industrias y se estima que, si se recolecta todos los residuos de café gastados en el mundo, se podría producir 340 millones de galones de biodiésel (Kondamudi et al., 2008). Esta conversión de los residuos de café gastados para terminar en biodiésel

se realiza mediante un proceso químico orgánico llamado transesterificación (Park et al., 2016). Los SCG también pueden ser usados como componente principal para la elaboración de *pellets*, los cuales se utilizan como un combustible ecológico (Bottani et al., 2019; Lisowski et al., 2019), como un componente para la elaboración de baterías de iones (Luna-Lama et al., 2019). Otros productos de energías renovables que se pueden desarrollar utilizando como componente los SCG son el carbón activado (Rufford et al., 2008) y el biocarbón, también conocido como carbón natural (Tongcumpou et al., 2019). En general, los SCG son residuos potenciales para la industria de la bioenergía (Zuorro & Lavecchia, 2012).

Los SCG también pueden ser utilizados en otras industrias como la industria de la construcción. Además, se confirma que este residuo sirve como componente para la producción de geopolímeros utilizados en la industria de la construcción (Kua et al., 2016). Incluso, los SCG funcionan como fuente de recursos para el potencial funcionamiento de la planta de biorefinería (Mata et al., 2018). Por otro lado, los SCG han sido testeados para la eliminación de colorantes catiónicos en tratamientos de aguas residuales y se ha comprobado su efectividad (Franca et al., 2009).

Los SCG han sido identificados como una fuente natural de fibra insoluble antioxidante, aminoácidos esenciales y azúcares de bajo índice glucémico, que son resistentes al procesamiento térmico de los alimentos y a la digestión, destacando su seguridad y valor nutricional (Martinez-Saez et al., 2017). Los SCG han sido ampliamente estudiados por sus posibles aplicaciones en la industria alimentaria como fuente natural de antioxidantes, aminoácidos, azúcares de bajo índice glucémico y beneficios para la salud en general. Los SCG contienen una variedad de compuestos bioactivos, incluyendo antioxidantes como el ácido clorogénico y polifenoles, los cuales los hacen adecuados para su uso en suplementos nutricionales, alimentos y aditivos cosméticos (Badr et al., 2022).

Además, los SCG han sido explorados en estudios centrados en la utilización de estos residuos del café como fuente natural de antioxidantes en la industria nutracéutica y alimentaria (Castaldo et al., 2021). El consumo moderado de café se ha asociado con efectos positivos para la salud, lo que apoya aún más los beneficios potenciales de la incorporación de SCG en productos alimenticios (Franca et al., 2009). También se ha descubierto que los SCG contienen nutrientes como proteínas, lípidos y minerales, lo que los convierte en un ingrediente versátil para el procesamiento de alimentos (Trà et al., 2021).

Químicamente, los SCG son ricos en ácidos grasos, aminoácidos, polifenoles, minerales y polisacáridos, lo que mejora su perfil nutricional y propiedades funcionales (Osorio-Arias et al., 2022). Los extractos de SCG han mostrado una actividad antioxidante prometedora para los aceites comestibles, lo que indica su potencial como antioxidantes naturales para diversos productos alimenticios (Hwang et al., 2019). En general, las investigaciones apoyan la afirmación de que los SCG son una valiosa fuente natural de

antioxidantes, aminoácidos y compuestos que promueven la salud en general, lo que los convierte en un ingrediente prometedor para la industria alimentaria.

## 1.2 Gestión de residuos

En todo modelo de economía circular, una etapa indispensable es la recolección y optimización de los subproductos obtenidos para desarrollar una extensión de la vida útil del producto. La tecnología aplicada a la recolección puede ser categorizada en tres niveles: orientada a la eficiencia, al producto transportado y al volumen de recolección. En el trabajo de Bottani et al. (2019), se describe el rol de la tecnología de información para recuperar los restos de café de máquinas expendedoras y su aprovechamiento en la obtención de biocombustibles. Se modela el volumen de recojo en forma determinística y se asignan factores de tiempos medios de traslado por distancia recorrida.

Por otro lado, con relación a la importancia de la flexibilidad de un diseño de cadena de abastecimiento orientado al café, Ramos et al. (2021) reportan los resultados de una encuesta que confirma la importancia de la agilidad en la cadena para los diferentes actores del mercado peruano. Los modelos para estudiar la recuperación de residuos van en un amplio espectro de alternativas. Para Roodt y Dempers (2020), los modelos de simulación son una herramienta muy útil cuando se desea analizar la complejidad de la interacción de los componentes de un sistema de recuperación de residuos. El campo de la logística de recojo se puede enmarcar en los diseños de operaciones de última milla (Orjuela-Castro et al., 2019; Ranieri et al., 2018), donde los principales retos están en la gestión de reducción de costos al evaluar tecnologías relacionadas a vehículos innovadores, puntos de visita cercanos y colaboración logística.

En esta línea, Naumov y Pawluś (2021) compararon métodos heurísticos y determinísticos para obtener la secuencia óptima de visitas en el contexto de la logística de última milla utilizando el transporte con bicicletas. Un factor importante que considerar es el momento donde ocurre el recojo, es decir, las ventanas de tiempo añaden una complejidad adicional al esfuerzo de modelar una secuencia de ruteo de recojo (Hagen & Scheel-Kopeinig, 2021). En la actualidad, muchas aplicaciones de ruteo utilizan interfaces de aplicaciones en la nube como una manera de responder a los cambios en el momento del ruteo de visita a los diversos locales (Muñoz-Villamizar et al., 2021a). Para autores como Karan et al. (2019), la ayuda de plataformas que utilizan tecnologías de georreferenciación, además de dar información descriptiva, al ser interactivas permiten al usuario manejar cambios de secuencias con rapidez.

Por lo tanto, una característica importante de la gestión de residuos es el tiempo de recojo y traslado a los centros de recolección. Especialmente, para residuos orgánicos, la rápida descomposición en algunos casos hace de esta etapa una actividad crítica debido al costo de la logística de recuperación (Baratsas et al., 2021). Entre los algoritmos

usados para este fin, destacan los algoritmos heurísticos de Clarke and Wright, las herramientas de investigación de operaciones (OR-Tools) de Google y el barrido aleatorio (Nazari et al., 2018). Como explican Simchi-Levi et al. (2014), los métodos de ruteo para recojo en puntos de venta requieren de métodos heurísticos cuando la demanda no es uniforme en cada lugar. Estas técnicas heurísticas abordan el problema por aproximación y buscan respetar la restricción de no superar la capacidad máxima de recojo del medio de transporte. Sobre ello, se pueden considerar cuatro categorías de métodos: (1) los constructivos, (2) los métodos de generación de rutas y posterior clusterización, (3) los métodos de clusterizar y rutear, (4) y los métodos de optimización aproximada incompleta. En este estudio se utilizó el método de clusterizar y rutear con demandas diferentes debido a que hace más sentido priorizar las cercanías de los locales y posterior desarrollo de la lógica de visitas.

## 2. METODOLOGÍA

Esta investigación tiene un diseño metodológico exploratorio. En la primera etapa, se aplicó una encuesta en línea para la obtención de información de la que participaron un total de dieciocho cafeterías. El instrumento utilizado consta de tres partes: en la primera de ellas, se busca conocer los datos del participante; la segunda parte está orientada a las características de la cafetería; mientras que la tercera trata sobre el interés en participar en un modelo de recojo de residuos de café.

El cuestionario incluyó las siguientes preguntas:

- ¿En cuál de las siguientes categorías se encuentra su negocio?
- ¿Cuál considera que es el perfil de su cliente?
- ¿Cuál de las siguientes presentaciones de café ofrece en su negocio?
- ¿Qué tipo de café utiliza en su negocio?
- ¿Qué volumen de café utiliza semanalmente su negocio?
- ¿Qué volumen de residuos de café genera aproximadamente por semana?
- ¿Qué destino tienen los residuos del café utilizado en su negocio?
- ¿Tiene conocimiento de los beneficios que pueden generar los residuos de café, por ejemplo, en la elaboración de otros productos, recogidos a través de algún mecanismo de gestión de residuos?
- ¿Tendría interés en donar los residuos de café provenientes de su negocio?
- De los productos mencionados a continuación, todos ellos elaborados a partir de los residuos de café, ¿de cuál de ellos tiene conocimiento?

- De los productos mencionados a continuación, todos ellos elaborados a partir de los residuos de café, ¿con cuál de ellos considera que podría beneficiarse económicamente su negocio?
- ¿Estaría interesado en integrar a su negocio un mecanismo para la gestión de los residuos de café?
- ¿Estaría interesado en integrar a su negocio un *software* o aplicativo móvil para la gestión de los residuos de café?
- De estar interesado en integrar a su negocio un mecanismo para la gestión de los residuos de café, ¿con qué frecuencia requeriría que se recojan los residuos?
- De estar interesado en integrar a su negocio un mecanismo para la gestión de los residuos de café, ¿en qué horario le acomodaría que se recojan los residuos?

Para la etapa de análisis de recojo de residuos, se realizó una entrevista a David Gonzáles, coordinador de la Cámara Peruana de Café y Cacao de Lima Metropolitana (comunicación personal, 23 de septiembre del 2021), quien indicó que se tiene registradas una población aproximada de 98 cafeterías. A partir de ello, se definió un tamaño de muestra de población finita, con un valor del 95 % de nivel de confianza ( $Z\alpha = 1,65$ ), las proporciones de selección ( $p = 0,5$ ;  $q = 0,5$ ) y la precisión de 5% ( $d = 0,05$ ), para lo cual se obtuvo un tamaño de muestra de 72 ubicaciones de cafeterías con sus respectivas direcciones.

La fórmula 1 se utilizó para la determinación de la muestra (Santos Peñas, 2003, p. 236).

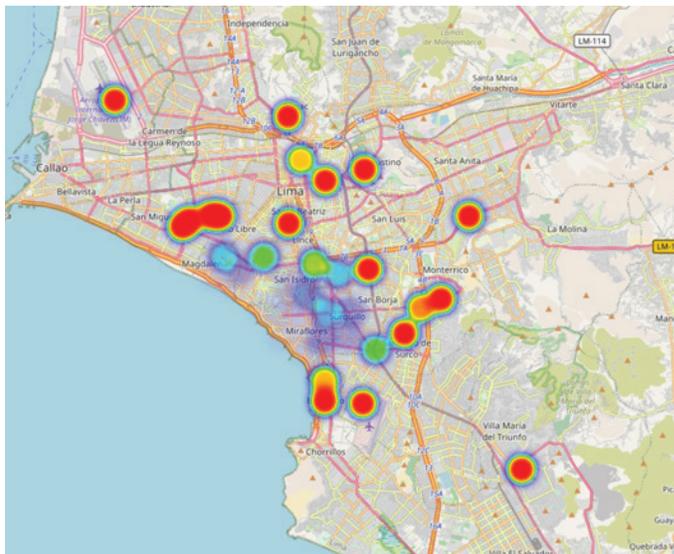
$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1)$$

Para esta etapa se adoptaron herramientas estadísticas y se llevó a cabo un análisis utilizando información geográfica de las 72 ubicaciones. Para ello, se utilizó el *software* QGis (en su versión 3.10.11), un *software* de libre disponibilidad para sistemas georreferenciados, como apoyo a la toma de decisiones de organizar, analizar y localizar datos geográficos.

En la tercera etapa, se desarrollaron modelos de conglomerados para identificar la mejor manera de recoger los residuos considerando las métricas de distancia media, distancia total y cantidad de kilogramos obtenidos. Los conglomerados se obtuvieron con la técnica de *k-means*, que agrupa las coordenadas de longitud y latitud en el conjunto de datos de las ubicaciones de las cafeterías (véase la Figura 4).

**Figura 4**

Ubicación de cafeterías en Lima Metropolitana



El algoritmo para generar los *clusters* es el *k-means*, el cual inicia probabilísticamente los centroides iniciales para buscar la convergencia de las distintas salidas en una separación que cumpla con la minimización de las distancias con la media del grupo. Esto permite equilibrar la inercia de cada *cluster* formado (Sindayigaya & Dey, 2022), lo cual se presenta a continuación en la ecuación 2:

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \text{distancia}(C_i, x)^2 \quad (2)$$

El problema de *k-means* se resuelve al utilizar el algoritmo de Lloyd. En la práctica, el algoritmo *k-means* es muy rápido (uno de los algoritmos de agrupamiento más rápidos que existen). Sin embargo, según la cantidad de datos y variables en el conjunto de datos, puede caer en mínimos locales, por lo que puede ser útil reiniciarlo varias veces (Yang et al., 2020).

### 3. RESULTADOS

En la etapa en que se aplicó la encuesta al personal de las cafeterías, se utilizó como muestra las dieciocho cafeterías participantes, de las cuales se obtuvo información primaria de los principales actores del sistema logístico de recojo de residuos del café (véase la Tabla 1). En la primera parte, se presenta el perfil del cliente y las presentaciones y tipos café que los establecimientos utilizan. En la segunda parte, se presenta

las características de la muestra con respecto a sus mecanismos de gestión de los residuos de café.

**Tabla 1**

*Características de dieciocho cafeterías en Lima, Perú*

| Ubicación   | Frecuencia | Porcentaje |
|---|------------|------------|
| Miraflores  | 6          | 33,33      |
| Barranco  | 5          | 27,78      |
| Santiago De Surco   | 2          | 11,11      |
| Otros   | 5          | 27,78      |
| Tiempo de operación del negocio   |            |            |
| Entre 2 y 3 años  | 6          | 33,33      |
| Más de 5 años   | 5          | 27,78      |
| Menos de 1 año  | 5          | 27,78      |
| Entre 4 y 5 años  | 2          | 11,11      |
| Tipo de cafetería   |            |            |
| Especialidad de café  | 13         | 72,22      |
| Restaurante   | 3          | 16,67      |
| Café como complemento   | 2          | 11,11      |
| Consumo diario de café (en kilogramos)                                  |            |            |
| Entre 6 kg y 10 kg  | 7          | 38,89      |
| Más de 10 kg  | 6          | 33,33      |
| Entre 1 kg y 5 kg   | 5          | 27,78      |
| Residuos diarios de café (en kilogramos)                                |            |            |
| Entre 1 kg y 10 kg  | 15         | 83,33      |
| Más de 20 kg  | 2          | 11,11      |
| Entre 11 kg y 20 kg   | 1          | 5,56       |
| Destino final de los residuos de café                                   |            |            |
| Los residuos se tiran en tachos de desperdicios generales               | 8          | 44,44      |
| Los residuos se segregan y se tiran en tachos de desperdicios orgánicos | 6          | 33,33      |
| Se utiliza un mecanismo de gestión para los residuos                    | 4          | 22,22      |
| Conoce sobre los beneficios de los residuos de café                     |            |            |
| Sí  | 13         | 72,22      |
| No  | 5          | 27,78      |
| Disposición para donar los residuos de café                             |            |            |
| Sí  | 15         | 83,33      |
| No  | 3          | 16,67      |

(continúa)

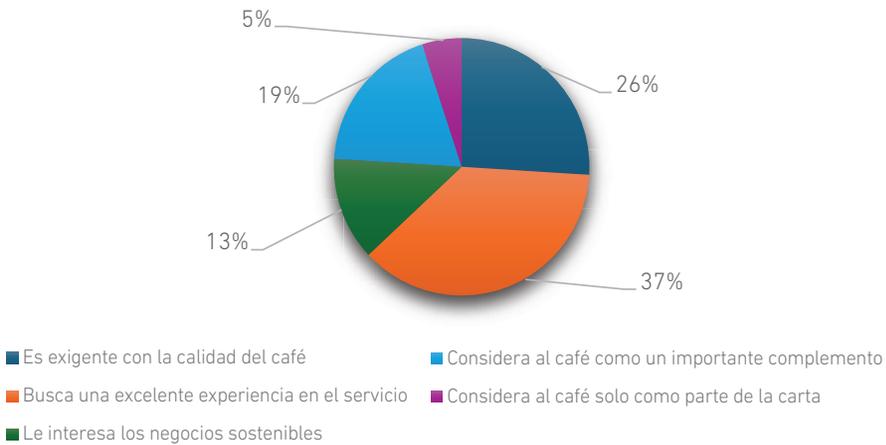
*(continuación)*

| Ubicación   | Frecuencia | Porcentaje |
|---|------------|------------|
| Intención de formar parte del sistema de logística de recolección de residuos |            |            |
| Sí  | 17         | 94,44      |
| No  | 1          | 5,56       |
| Intención de uso de app de sistema de logística de recolección de residuos    |            |            |
| Sí  | 16         | 88,89      |
| No  | 2          | 11,11      |
| Frecuencia para la recolección del residuo                                    |            |            |
| Semanalmente, un día en específico  | 10         | 55,56      |
| Diariamente   | 6          | 33,33      |
| Semanalmente, cualquier día de la semana                                      | 2          | 11,11      |
| Día de la semana de preferencia para la recolección del residuo               |            |            |
| Domingo   | 13         | 72,22      |
| Lunes   | 2          | 11,11      |
| Jueves  | 1          | 5,56       |
| Sábado  | 1          | 5,56       |
| Miércoles   | 1          | 5,56       |
| Hora del día de preferencia para la recolección del residuo                   |            |            |
| Después de las 7:00 p. m.   | 8          | 44,44      |
| Al mediodía   | 6          | 33,33      |
| Antes de las 8:00 a. m.   | 4          | 22,22      |

Con referencia al perfil del cliente, se encuentra que, de acuerdo con el 37 % de las respuestas, el cliente busca una excelente experiencia en el servicio, un 26, % es exigente con la calidad de café, un 19 % considera el café como un complemento y a un 13 % le interesa los negocios sostenibles (véase la Figura 5).

**Figura 5**

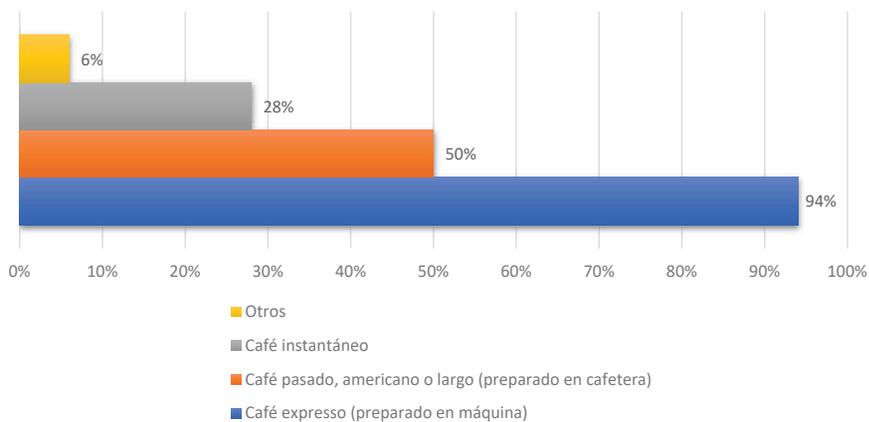
*Perfil del cliente*



De las empresas encuestadas, un 94 % ofrece café expreso; un 50 %, café pasado, americano o largo; un 28 %, otras presentaciones; y, solo un 6 %, café instantáneo (véase la Figura 6).

**Figura 6**

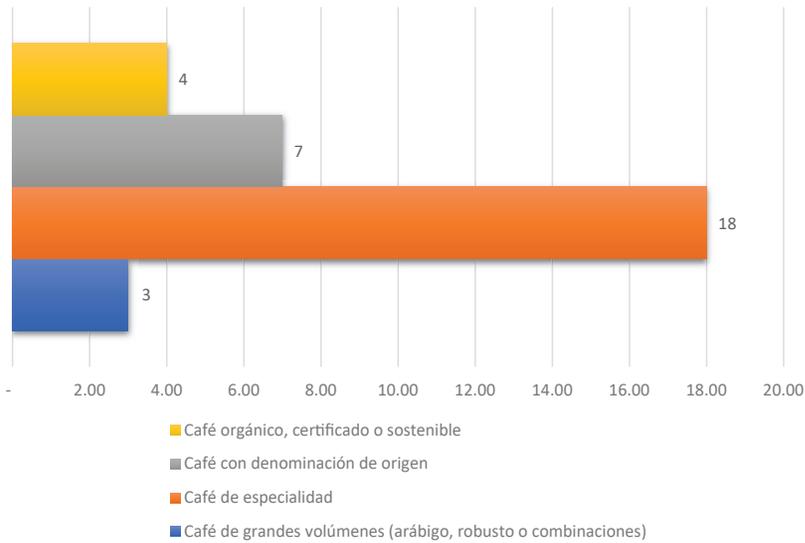
*Presentaciones del café*



Con respecto al tipo de café utilizado, el 100 % de los negocios utiliza café de especialidad; un 39 %, café con denominación de origen; un 22 %, café orgánico, certificado y sostenible; y, un 17 %, café de grandes volúmenes (véase la Figura 7).

**Figura 7**

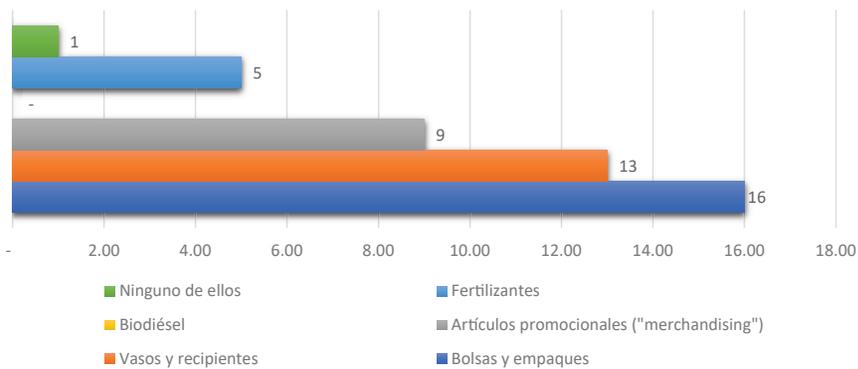
*Tipo de café utilizado*



Sobre los artículos reciclados de la borra de café, los negocios priorizan las bolsas y empaques, vasos y recipientes y artículos promocionales, que podrían beneficiarlos económicamente (véase la Figura 8).

**Figura 8**

*Artículos reciclados a partir del café con beneficio económico*



Las principales características de la muestra, con respecto a sus mecanismos de gestión de residuos, son las siguientes:

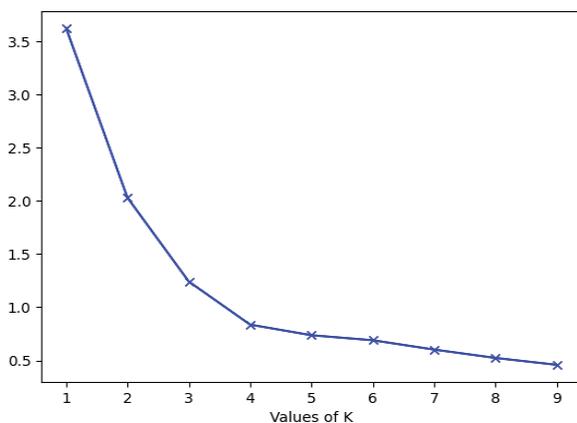
1. Los locales generan en promedio entre cinco a diez kilogramos de residuos de café al día.
2. La mayoría no cuenta con un sistema de recolección de residuos.
3. La mayoría tiene conocimiento de los beneficios de la gestión de residuos y están dispuestos a donar los residuos y en participar en el sistema de recolección logístico.
4. La preferencia para la realización de la colección son los domingos a partir de las siete de la noche.

### 3.1 Logística de recojo de residuos del café

Para la etapa de modelamiento de la logística de recojo de residuos, en la obtención de resultados se identificó la cantidad de conglomerados que son adecuados para el conjunto de datos. En la Figura 9, se observa que la cantidad de cuatro conglomerados puede ser útil.

**Figura 9**

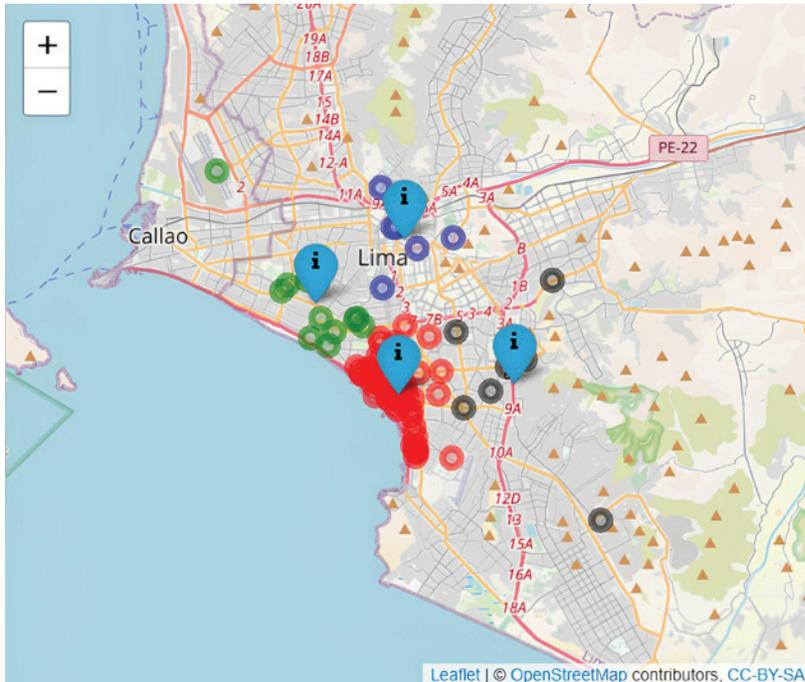
*Número de clusters y valores de inercia en el conglomerado*



La Figura 9 muestra la asignación de cada punto de venta a su respectivo *cluster*. Esto muestra que algunos grupos son más compactos que otros, lo que nos ayuda a pasar a la etapa de obtención de las rutas de recolección considerando las restricciones de tiempo y distancia entre elementos de recolección (véase la Figura 10).

**Figura 10**

*Centroides en los cuatro conglomerados*



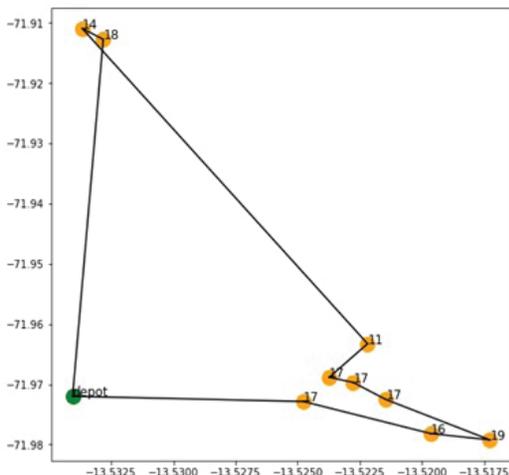
*Nota.* Zona color rojo: Miraflores. Zona verde: Pueblo Libre. Zona morada: Lima Centro. Zona Sur: Surco.

Como se ve en la Figura 10, los centroides se ubican en cuatro zonas diferenciadas por colores. Con relación a la secuencia de visitas, se consideró el *cluster* de color rojo por estar más agregado. Usualmente, la frecuencia de recojos se establece, según los resultados, una vez por semana y se menciona que esta sería los domingos. Como se considera una cantidad media de recojo de cinco kilogramos por día en cada local, la muestra de 72 locales se utilizó para obtener cuatro *clusters*.

Bajo esa lógica, se utilizó la librería VRPy para identificar la secuencia de visitas que debe realizarse. Una etapa importante en el recojo de residuos es la de obtener la matriz de distancias y de tiempos de viajes entre los puntos, con la intención de construir un modelo de optimización que minimice las distancias y traslados. Se trabajaron estas matrices con la librería Googleway en R. Esta librería se enlaza con los servicios de Google (véase la Figura 11).

**Figura 11**

*Secuencia obtenida con método de ruteo*



#### 4. DISCUSIÓN

El diseño de la logística de recuperación de residuos tiene sentido, según lo reportado por Lyu et al. (2021), donde las técnicas de ruteo pueden combinar la simulación discreta por eventos para calcular los tiempos entre locales. Por ese motivo, se utiliza herramientas con información georreferenciada, lo que permite obtener las coordenadas de las ubicaciones con mayor precisión.

Los conglomerados obtenidos coinciden en metodología a lo propuesto por Muñoz-Villamizar et al. (2021b), por lo que puede aplicarse considerando la densidad poblacional. La cobertura de los centroides de los conglomerados cubre un porcentaje de la demanda similar a lo mostrado por Wirawan (2021). La diferencia entre los métodos para obtener la matriz de tiempos entre traslados y las distancias influye en los resultados, porque existen librerías como Geocode que utilizan un algoritmo de cálculo de distancias del tipo *haversine*, a diferencia de las técnicas utilizadas en nuestro método que parte de aplicar los servicios de las librerías de Google para R y Python.

#### 5. CONCLUSIONES

De la información recogida, se tiene que un 67,22 % de las cafeterías tiene un consumo diario de 6-10 kg o más de café, mientras que un 83,33 % genera entre 1-10 kg de residuo de café, de los cuales solo un 22,22 % utiliza algún mecanismo de gestión para los residuos.

Las cafeterías manifiestan que conocen los beneficios de los residuos de café (72,22 %), su disposición para donar los residuos de café (83,33 %), la intención de formar

parte del sistema logístico de recolección de residuos (94,44 %) y su intención del uso de un aplicativo de sistema logístico para la recolección de residuos. Entonces, se concluye que sí existe interés de participar en un sistema de recolección de residuos como parte de un proyecto de economía circular. Este resultado se podría corroborar con una muestra mayor de participantes.

Con relación a la logística de recojo de residuos del café, se puede concluir que las herramientas de conglomerados ayudan a agrupar las potenciales zonas de recojo considerando que los centroides de dichas zonas geográficas pueden ser potenciales puntos de salida para la logística de ruteo. En este sentido, las herramientas de tecnología disponibles podrían facilitar la implementación de un proceso de recuperación de residuos. Una siguiente investigación podría abordar el diseño del modelo de recolección y una profundización en los posibles subproductos que se puedan generar con los residuos de café recolectados.

## 6. REFERENCIAS

- Badr, A., El-Attar, M., Ali, H., Elkhadragey, M., Yehia, H., & Farouk, A. (2022). Spent coffee grounds valorization as bioactive phenolic source acquired antifungal, anti-mycotoxigenic, and anti-cytotoxic activities. *Toxins*, 14(2), 109. <https://doi.org/10.3390/toxins14020109>
- Baratsas, S. G., Pistikopoulos, E. N., & Avraamidou, S. (2021). A systems engineering framework for the optimization of food supply chains under circular economy considerations. *Science of the Total Environment*, 794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148726>
- Barreto Peixoto, J., Silva, J., Oliveira, M., & Alves, R. (2023). Sustainability issues along the coffee chain: from the field to the cup. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(1), 287-332. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13069>
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The emergence of circular economy: a new framing around prolonging resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603-614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Bottani, E., Tebaldi, L., & Volpi, A. (2019). The role of ICT in supporting spent coffee grounds collection and valorization: a quantitative assessment. *Sustainability*, 11(23). <https://doi.org/10.3390/su11236572>
- Castaldo, L., Lombardi, S., Gaspari, A., Rubino, M., Izzo, L., Narváez, A., Ritieni, A., & Grosso, M. (2021). In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenolic compounds from spent coffee grounds-enriched cookies. *Foods*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/foods10081837>

- Ferasso, M., Beliaeva, T., Kraus, S., Clauss, T., & Ribeiro-Soriano, D. (2020). Circular economy business models: the state of research and avenues ahead. *Business Strategy and the Environment*, 29(8), 3006-3024. <https://doi.org/10.1002/bse.2554>
- Franca, A. S., Oliveira, L. S., & Ferreira, M. E. (2009). Kinetics and equilibrium studies of methylene blue adsorption by spent coffee grounds. *Desalination*, 249(1), 267-272. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.11.017>
- Garcia, C. V., & Kim, Y. T. (2021). Spent coffee grounds and coffee silverskin as potential materials for packaging: a review. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, 2372-2384. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02067-9>
- Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: a comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603-626. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.07.012>
- Hagen, T., & Scheel-Kopeinig, S. (2021). Would customers be willing to use an alternative (chargeable) delivery concept for the last mile? *Research in Transportation Business & Management*, 39, 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2021.100626>
- Hwang, H., Winkler-Moser, J., Kim, Y., & Liu, S. (2019). Antioxidant activity of spent coffee ground extracts toward soybean oil and fish oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 121(4). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800372>
- Karan, G., Sreejith, R., & Senthil, S. (2019). Geographic analytics and visualization for decision making: an application for online food delivery platform. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 6453-6458. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B2206.078219>
- Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química*, 26(1-2), 37-40. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547>
- Kondamudi, N., Mohopatra, S., & Misra, M. (2008). Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(24), 11757-11760. <https://doi.org/10.1021/jf802487s>
- Kua, T. A., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Du, Y. J., & Shen, S. L. (2016). Strength assessment of spent coffee grounds-geopolymer cement utilizing slag and fly ash precursors. *Construction and Building Materials*, 115, 565-575. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.021>
- Leow, Y., Yew, P., Chee, P., Loh, X., & Kai, D. (2021). Recycling of spent coffee grounds for useful extracts and green composites. *RSC Advances*, 11(5), 2682-2692. <https://doi.org/10.1039/d0ra09379c>

- Lisowski, A., Olendzki, D., Świętochowski, A., Dąbrowska, M., Mieszkalski, L., Ostrowska-Ligęza, E., Stasiak, M., Klonowski, J., & Piątek, M. (2019). Spent coffee grounds compaction process: its effects on the strength properties of biofuel pellets. *Renewable Energy*, *142*, 173-183. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.114>
- Luna-Lama, F., Rodríguez-Padrón, D., Puente-Santiago, A. R., Muñoz-Batista, M. J., Caballero, A., Balu, A. M., Romero, A. A., & Luque, R. (2019). Non-porous carbonaceous materials derived from coffee waste grounds as highly sustainable anodes for lithium-ion batteries. *Journal of Cleaner Production*, *207*, 411-417. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.024>
- Lyu, Z., Pons, D., Zhang, Y., & Ji, Z. (2021). Freight operations modelling for urban delivery and pickup with flexible routing: cluster transport modelling incorporating discrete-event simulation and GIS. *Infrastructures*, *6*(12). <https://doi.org/10.3390/infrastructures6120180>
- Martinez-Saez, N., Tamargo García, A., Domínguez Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., Martín-Cabrejas, M. A., & del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*, *216*, 114-122. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.173>
- Mata, T. M., Martins, A. A., & Caetano, N. S. (2018). Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. *Bioresource Technology*, *247*, 1077-1084. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.106>
- McNutt, J., & He, Q. (2019). Spent coffee grounds: a review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *71*, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.11.054>
- Muñoz-Villamizar, A., Solano-Charris, E. L., Azad Disfany, M., & Reyes-Rubiano, L. (2021a). Study of urban-traffic congestion based on Google Maps API: the case of Boston. *IFAC-PapersOnLine*, *54*(1), 211-216. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.079>
- Muñoz-Villamizar, A., Solano-Charris, E. L., Reyes-Rubiano, L., & Faulin, J. (2021b). Measuring disruptions in last-mile delivery operations. *Logistics*, *5*(1). <https://doi.org/10.3390/logistics5010017>
- Murthy, P., & Madhava, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition, a review. *Resources, Conservation and Recycling*, *66*, 45-58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Technology*, *4*, 661-672. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>

- Naumov, V., & Pawluś, M. (2021). Identifying the optimal packing and routing to improve last-mile delivery using cargo bicycles. *Energies*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/en14144132>
- Nazari, M., Oroojlooy, A., Takáč, M., & Snyder, L. V. (2018). Reinforcement learning for solving the vehicle routing problem. *Arxiv*, 2. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.04240>
- Orjuela-Castro, J. A., Orejuela-Cabrera, J. P., & Adarme-Jaimes, W. (2019). Last mile logistics in mega-cities for perishable fruits. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), 318-327. <https://doi.org/10.3926/jiem.2770>
- Osorio-Arias, J., Contreras-Calderón, J., Martínez-Monteagudo, S., & Vega-Castro, O. (2022). Nutritional and functional properties of spent coffee ground-cheese whey powder. *Journal of Food Process Engineering*, 45(7). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13524>
- Panusa, A., Zuurro, A., Lavecchia, R., Marrosu, G., & Petrucci, R. (2013). Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(17), 4162-4168. <https://doi.org/10.1021/jf4005719>
- Park, J., Kim, B., & Lee, J. W. (2016). *In-situ* transesterification of wet spent coffee grounds for sustainable biodiesel production. *Bioresource Technology*, 221, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.001>
- Ramos, E., Patrucco, A. S., & Chavez, M. (2021). Dynamic capabilities in the "new normal": a study of organizational flexibility, integration and agility in the Peruvian coffee supply chain. *Supply Chain Management*, 28(1), 55-73. <https://doi.org/10.1108/SCM-12-2020-0620>
- Ranieri, L., Digiesi, S., Silvestri, B., & Roccotelli, M. (2018). A review of last mile logistics innovations in an externalities cost reduction vision. *Sustainability*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/su10030782>
- Ripanti, E. & Tjahjono, B. (2019). Unveiling the potentials of circular economy values in logistics and supply chain management. *The International Journal of Logistics Management*, 30(3), 723-742. <https://doi.org/10.1108/ijlm-04-2018-0109>
- Roodt, J. H., & Dempers, C. (2020). Addressing Challenges of the Circular Economy using Model-Based Co-Creation and Systems Design. *INCOSI International Symposium*, 30(1), 94-108. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2020.00710.x>
- Rufford, T. E., Hulicova-Jurcakova, D., Zhu, Z., & Lu, G. Q. (2008). Nanoporous carbon electrode from waste coffee beans for high performance supercapacitors. *Electrochemistry Communications*, 10(10), 1594-1597. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2008.08.022>

- San Martín, D., Orive, M., Iñarra, B., García, A., Goiri, I., Atxaerandio, R., Urkiza, J., & Zufía, J. (2021). Spent coffee ground as second-generation feedstuff for dairy cattle. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11, 589-599. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00610-7>
- Santos Peñas, J. (2003). *Diseño de encuestas para estudios de mercado: técnicas de muestreo y análisis multivariante*. Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Simchi-Levi, D., Chen, X., & Bramel, J. (2014). The capacitated VRP with equal demands. En T. Mikosch, S. Resnick, B. Zwart & T. Dieker (Eds.), *The logic of logistics* (3.ª ed., pp. 301-312). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9149-1>
- Sindayigaya, L., & Dey, A. (2022). Machine learning algorithms: a review. *International Journal of Science and Research*, 11(8), 1127-1133. [https://www.researchgate.net/publication/362711297\\_Machine\\_Learning\\_Algorithms\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/362711297_Machine_Learning_Algorithms_A_Review)
- Stahel, W. R. (2016). The circular economy - A new relationship with our goods and materials would save resources and energy and create local jobs. *Nature*, 531, 435-438. <https://doi.org/10.1038/531435a>
- Thriveni, T., Kim, M., & Whan, A. J. (2017). Overview of coffee waste and utilization for biomass energy production in Vietnam. *Journal of Energy Engineering*, 26(1), 76-83. <https://doi.org/10.5855/energy.2017.26.1.076>
- Tongcumpou, C., Usapein, P., & Tuntiwiwattanapun, N. (2019). Complete utilization of wet spent coffee grounds waste as a novel feedstock for antioxidant, biodiesel, and bio-char production. *Industrial Crops and Products*, 138, Ho Chi Minh city, Vietnam. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111484>
- Trà, T., Phúc, L., Yến, V. T., Sang, L., Thu, N., Nguyễn, T., & Mẫn, L. (2021, 4-5 de noviembre). Use of wheat flour and spent coffee grounds in the production of cookies with high fiber and antioxidant content: Effects of spent coffee grounds ratio on the product quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 947. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/947/1/012044>
- Wirawan, N. J. (2021, 1 de agosto). *(The Code) Microhubs: the future of urban logistics?* LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/code-microhubs-future-urban-logistics-nathanael-wirawan/?trackingId=uiJZFTNWRzqrgriln5p4kQ%3D%3D>
- Yang, W., Long, H., Ma, L., & Sun, H. (2020). Research on clustering method based on weighted distance density and k-means. *Procedia Computer Science*, 166, 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.056>
- Zuorro, A., & Lavecchia, R. (2012). Spent coffee grounds as a valuable source of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 34, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.003>

