

Proceso Para La Selección De Camiones Mediante La Jerarquización De Alternativas

Mariana Gisel Jansat ^{a*}, María Fernanda Kaczynski ^a, Sonia Romina Niezwida ^a, Sonia Ester Yasinski ^a, Juan Carlos Michalus^a

^a *Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: mariana.jansat@gmail.com, kaczynskifernanda@gmail.com, sonia.niezwida@fio.unam.edu.ar, sonia.yasinski@fio.unam.edu.ar, michalus@fio.unam.edu.ar

Resumen

El presente trabajo, forma parte de una investigación sobre la caracterización de los residuos llevada a cabo en el municipio de Oberá, perteneciente a la provincia de Misiones, Argentina. La adecuada elección de los camiones recolectores de residuos es un componente crítico de este proceso, ya que influye directamente en la eficiencia y representatividad de la toma de muestras de basura dentro de la ciudad. Por ello, se analizó específicamente el proceso de análisis jerárquico a través de un enfoque de jerarquización de alternativas. En marco a un trabajo conjunto entre la municipalidad y la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, en primer lugar, se definieron los criterios y alternativas para la selección de los camiones. Seguidamente a cada alternativa se le otorgó un peso relativo y con ayuda del software Expert Choice V1.1 se obtuvo la jerarquización. El principal objetivo del artículo es exponer los pasos utilizados que permitieron determinar los camiones más representativos para tomar las muestras de residuos. Los resultados obtenidos proporcionan una guía práctica para los responsables de la toma de decisiones en los municipios, permitiendo una selección informada y objetiva que indica los camiones recolectores de residuos más representativos de la localidad.

Palabras Clave- *Camiones Recolectores, Criterios, Jerarquización de Alternativas, Municipio, Residuos*

1 Introducción

En el marco de una investigación más amplia se presenta este estudio desarrollado en el Departamento de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, ubicada en la ciudad de Oberá. En este artículo se presentan y desarrollan los pasos utilizados que permitieron seleccionar los camiones recolectores de residuos con el fin de evaluar y determinar los vehículos más representativos y usarlos como muestra para caracterizar la basura de la ciudad.

El trabajo se concretó considerando los aspectos de las zonas y barrios de la ciudad de Oberá, una localidad en la zona centro de Misiones, caracterizada por ser la segunda ciudad más grande de la provincia en cuanto a población, según el último censo nacional de población y viviendas del año 2022 (INDEC, 2023).

El proceso de selección de alternativas (camiones con respectivos recorridos) se realizó mediante el método de Jerarquización de alternativas “Analytic Hierarchy Process” (AHP), que consiste en un método útil para toma de decisiones mediante la asignación de pesos a los criterios implicados en el proceso de selección (Podvezko, 2009). Para una solución más rápida, se utilizó el software Expert Choice V1.1, con las alternativas y los datos reunidos sobre aspectos de interés del municipio que permitió determinar los camiones recolectores más representativos.

La metodología permitió determinar los camiones recolectores más representativos, utilizados para tomar muestras en la caracterización de residuos de Oberá, Misiones.

2 Metodología

Para llevar a cabo la investigación y aplicar la jerarquización de alternativas, se desarrollaron varias actividades previas. Estas actividades incluyeron la recolección de información necesaria mediante reuniones con los diferentes organismos municipales para aplicar el método AHP, así como la definición de aspectos “criterios” que, según los referentes del área, están relacionados de forma directa con los residuos generados en el municipio. Además, se realizó una zonificación de la ciudad teniendo en cuenta características como el nivel socioeconómico, la densidad poblacional, entre otras. Finalmente, se procesó la información utilizando un software. Lo mencionado se detallará a continuación.

2.1 Reunión de recopilación de información

En esta etapa, los integrantes del proyecto de investigación por parte de la Facultad de Ingeniería se reunieron con integrantes de diversos sectores de la municipalidad de Oberá en marco del programa “Oberá Sustentable” del gobierno de la ciudad de Oberá, además participaron representantes del área de Acción Social, la Dirección de Obras Públicas y el Departamento de Saneamiento Ambiental de dicho municipio.

Este último se encarga de la gestión, control, limpieza y el tratamiento de residuos en el municipio, asegurando un entorno saludable y libre de contaminantes para la comunidad. Por su parte, el área de Acción Social promueve el bienestar y la inclusión de los ciudadanos, desarrollando programas comunitarios que permiten mejorar la calidad de vida y además proporcionan un conocimiento profundo sobre la situación socioeconómica y social de la comunidad. Por otro lado, el Departamento de Obras Públicas mantiene la infraestructura y los servicios públicos del municipio, además de planificar las rutas de recolección de residuos sólidos urbanos. Todos estos sectores aportaron información valiosa para analizar la gestión de los residuos que se generan, principalmente por ser áreas que se relacionan directamente con la gestión de los residuos de la localidad.

2.2 Determinación de criterios a evaluar y alternativas posibles

Con el fin de establecer un orden de prioridad e identificar los criterios y alternativas de comparación para seleccionar adecuadamente los camiones para la toma de muestras, se plantearon los criterios y alternativas formuladas por el equipo de investigación con ayuda de agentes de la municipalidad.

Mediante las reuniones con los diferentes sectores mencionados anteriormente (2.1), se determinó que la recolección de residuos no diferenciados es responsabilidad de la Dirección de Obras Públicas. Este servicio, en el momento de la investigación, se realizaba con 11 camiones compactadores, que realizaban los recorridos planeados, recolectaban los residuos operando de lunes a viernes en turnos matutinos, vespertinos y nocturnos, sumando un total de 22 recorridos para abarcar la recolección de toda la ciudad de Oberá. Tras finalizar el recorrido, cada camión con residuos se traslada a la estación de transferencia, a las afueras de la ciudad. Allí, los camiones recolectores vierten los residuos en un contenedor de mayor tamaño y luego, la basura es transportada al relleno sanitario de Fachinal, que se ubica a 73 kilómetros de la ciudad de Oberá. Por otro lado, la información proporcionada por el Área de Acción Social, permitió realizar un análisis cualitativo que consideró varios aspectos de los distintos barrios que integran el distrito urbano. Estos aspectos son detallados a continuación y fueron criterios que se utilizaron para el análisis AHP.

- **Nivel socioeconómico:** es un aspecto válido, debido a según acción social del municipio, los habitantes de menores recursos son quienes generan mayor cantidad de residuos. En consecuencia, las áreas más humildes de la ciudad tendrán una mayor ponderación en comparación con las zonas de mayor poder adquisitivo, por ser potenciales generadores de residuos.
- **Rango etario:** Este criterio se establece considerando la diversidad de edades en los distintos barrios de la ciudad. Se presume que la población más joven genera una mayor cantidad de residuos, por lo que se asignara un peso mayor en comparación con la población de mayor edad.
- **Densidad poblacional:** Se analiza la cantidad de habitantes en cada barrio de la ciudad, otorgando mayor peso a los barrios con mayor densidad poblacional. Esto se debe a la expectativa de que estos barrios generen una mayor cantidad de residuos en comparación con aquellos de menor población.
- **Impacto ambiental:** Se consideran los barrios que albergan arroyos, reservas naturales u otros elementos que puedan tener un impacto ambiental negativo. Estos barrios recibirán una mayor ponderación en comparación con aquellos que no presenten estos factores.
- **Cantidad de residuos generados:** Es fundamental conocer la cantidad de residuos producidos en cada zona de la ciudad, asignando mayor ponderación a las áreas que generan más residuos.

- **Zonas comerciales:** las áreas con mayor actividad comercial recibirán una mayor ponderación en comparación con aquellas de baja actividad comercial, dado que se espera que generen una cantidad significativamente mayor de residuos.
- **Zonas con eco-puntos:** las zonas que cuentan con eco-puntos recibirán una menor ponderación en comparación con las demás, ya que se considera que los residentes de estas áreas llevan los residuos reciclables a dichos puntos, lo que resulta una menor generación de residuos.

2.3 Procesamiento a través del software

Como paso final para la selección de criterio, se introdujo la información recopilada en el software Expert Choice V1.1 el cual procesó los datos para la selección de los camiones recolectores de residuos. Para la ponderación de criterios, se utilizó la Escala de Saaty, herramienta del proceso de Análisis Jerárquico, desarrollada por Thomas L. Saaty, es una escala que asigna valores numéricos a las comparaciones de importancia relativa entre criterios y alternativas Saaty, (1977). Los valores (de 1 a 9), son puntuaciones asignadas según los expertos, con respecto a las distintas alternativas y criterios de comparación (Dávila Pinto & García Salazar, 2017). A continuación, se describe el proceso a través del software.

2.3.1 Definición de Criterios y Alternativas: Se establecieron los criterios considerados relevantes para la selección de los camiones recolectores, y se identificaron las diferentes alternativas de recorridos de los camiones.

2.3.2 Comparación Par a Par: Una vez definidos tanto los criterios de comparación como las alternativas, el software construyó una matriz de comparaciones por pares para determinar los pesos relativos de cada criterio y alternativa. Cada criterio y alternativa es comparado con los demás de su mismo nivel jerárquico. Las comparaciones se realizan asignando pesos teniendo en cuenta la escala de Saaty,

- 1: Igual importancia.
- 3: El elemento es moderadamente más importante respecto al otro.
- 5: El elemento es fuertemente más importante respecto al otro.
- 7: La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro.
- 9: La importancia del elemento es extrema respecto al otro.
- 2,4,6,8 valores intermedios entre dos juicios adyacentes.

Posteriormente, estas valoraciones se posicionaron en una matriz cuadrada de $n \times n$, donde n es el número de criterios o alternativas a comparar y se procedió con el siguiente paso.

2.3.3 Cálculo de Prioridades: Por medio del software se calcularon los pesos relativos de la matriz de comparaciones antes diseñada. El programa procede a sumar cada columna de la matriz con el objetivo de obtener la matriz normalizada la cual surge a partir de dividir cada entrada de esta por la suma respectiva de su columna, finalmente calcula el promedio de los valores en cada fila de la matriz normalizada. Este promedio proporciona el vector de pesos relativos, el cual representa la importancia relativa de cada criterio. Una vez obtenido los pesos, el software verifica la consistencia de las comparaciones mediante el cálculo del índice de consistencia (CI) y lo compara con un índice de consistencia aleatoria (RI). Si el cociente entre CI y RI es menor que 0,1 las comparaciones son aceptables.

2.3.4 Selección de la Mejor Alternativa: Finalmente, el software presenta una evaluación estructurada y detallada de todas las alternativas, siendo la alternativa con puntuación más alta la recomendada como la mejor opción para cumplir con el objetivo.

3 Resultados y discusión

Tras aplicar la metodología los resultados han sido:

3.1 Reunión de información y determinación de criterios a evaluar

Los criterios más importantes considerados en las reuniones con los agentes municipales para la selección de los camiones fueron:

- *Nivel socioeconómico:* Se definieron tres categorías para clasificar las zonas de la ciudad según su nivel socioeconómico. La **zona alta** está compuesta por un total de 14 regiones, que se caracterizan por tener una mayor concentración de recursos económicos y una infraestructura más desarrollada. La **zona media** incluye 22 regiones o barrios, representando un segmento intermedio en términos de recursos económicos y calidad de vida. Finalmente, la **zona baja** abarca 32 regiones, que suelen enfrentar mayores desafíos económicos y sociales, con una menor infraestructura y recursos en comparación con las zonas de mayor nivel socioeconómico.
- *Rango etario:* Se realizó una discriminación detallada por porcentajes estimados de población en cada barrio, clasificando a los residentes en tres grupos etarios principales: niños, adultos y mayores.
- *Densidad poblacional:* se establecieron dos categorías principales para clasificar la densidad poblacional en los barrios de la ciudad. De un total de 68 barrios evaluados, el 51% se clasifica dentro de la categoría de densidad baja-media. Por otro lado, el 49% restante corresponde a la categoría de alta densidad poblacional, donde se observa una mayor concentración de residentes. Esta clasificación es fundamental para la planificación y gestión urbana, ya que permite adaptar las estrategias de manejo de residuos dentro de la ciudad.
- *Impacto ambiental:* se identificaron a dos reservas importantes dentro de la ciudad: la Reserva Natural Municipal Mbotaby y la Reserva Ecológica del Chachí. Estas áreas protegidas juegan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad y la regulación de los ecosistemas

urbanos. Además, se han señalado los dos principales efluentes urbanos: el arroyo Tuichá y el arroyo Mbotaby. La protección de estos cuerpos de agua es esencial para minimizar el impacto negativo de las actividades urbanas en el entorno natural.

- *Cantidad de residuos generados:* Se utilizaron los datos proporcionados por el área de Obras Públicas, los cuales consisten en los pesajes promedio en kilogramos de cada recorrido realizado por los camiones recolectores de residuos. Estos datos revelan ciertas variaciones en la cantidad de residuos recogidos, dependiendo de los diferentes recorridos y los días en los que se realizaron.
- *Zonas comerciales:* Las zonas comerciales se concentran en el microcentro urbano. Esta área central alberga la mayor parte de la actividad comercial, concentrando una variedad de negocios, tiendas y servicios que contribuyen significativamente a la generación de residuos en comparación con otras áreas de la ciudad.
- *Zonas con eco-puntos:* se identificaron cinco eco-puntos estratégicamente distribuidos en diversas ubicaciones de la ciudad.
 1. Eco-punto en 100 Hectáreas: situado en un área clave para el manejo de residuos en esta región.
 2. Eco-punto en plaza San Martín: ubicado en el centro de una de las plazas más concurrida de la ciudad, facilitando el acceso a los residentes.
 3. Eco-punto en Jardín Botánico: Localizado en un espacio verde importante, promoviendo la conciencia ambiental entre los visitantes.
 4. Eco-punto en la municipalidad de Oberá: Instalado con el fin de servir tanto a empleados como a la comunidad local.
 5. Eco-punto en Plaza Malvinas: Situado en otra plaza de mucha importancia, ofreciendo un punto reciclable para los residentes de estas áreas de la ciudad.

3.2 Determinación de las alternativas de comparación

Para llevar a cabo la comparación, se analizaron los distintos recorridos de los camiones recolectores de residuos. Para identificar y clasificar estos recorridos, se desarrolló un sistema de codificación que incluye varios criterios: el número de interno asignado a cada camión, los días específicos en los que cada camión realiza la recolección, y el turno correspondiente, que se divide en mañana, tarde y noche. En total se identificaron 24 alternativas de comparación, cada una representando a una combinación única de camión, día y turno. En la Tabla 1. se presenta a modo de ejemplo la codificación de seis de los recorridos de camiones recolectores.

Tabla 1 – Criterios considerados para el estudio

Criterio N° 1: Nivel Socioeconómico
Criterio N° 2: Rango etario
Criterio N° 3: Densidad poblacional
Criterio N° 4: Impacto ambiental
Criterio N° 5: Cantidad de residuos generados
Criterio N° 6: Zonas comerciales
Criterio N° 7: Zonas con eco-puntos

3.3 Procesamiento a través del software

Tras definir los criterios de comparación tal como se muestra en la Tabla 1, y las respectivas alternativas, así como se observan en la Tabla 2, el paso final consiste en ingresar esta información al software.

Tabla 2 - Códigos asignados a los diferentes camiones recolectores

Alternativas de comparación	
Código de alternativa	Descripción
TMC1620LMV	Turno mañana camión N° 12620 recorrido lunes, miércoles y viernes
TMC1620MJ	Turno mañana camión N° 12620 recorrido martes y jueves
TMC9907LV	Turno mañana camión N° 9907 recorrido de lunes a viernes
TTC11331LMV	Turno tarde camión N° 11331 recorrido lunes, miércoles y viernes
TN12920LV	Turno noche camión N° 12920 recorrido de lunes a viernes
TNC12620LMV	Turno noche camión N° 12620 recorrido lunes, miércoles y viernes
...	...

En primera instancia se introdujeron los criterios de comparación como se muestra en la Fig. 1.

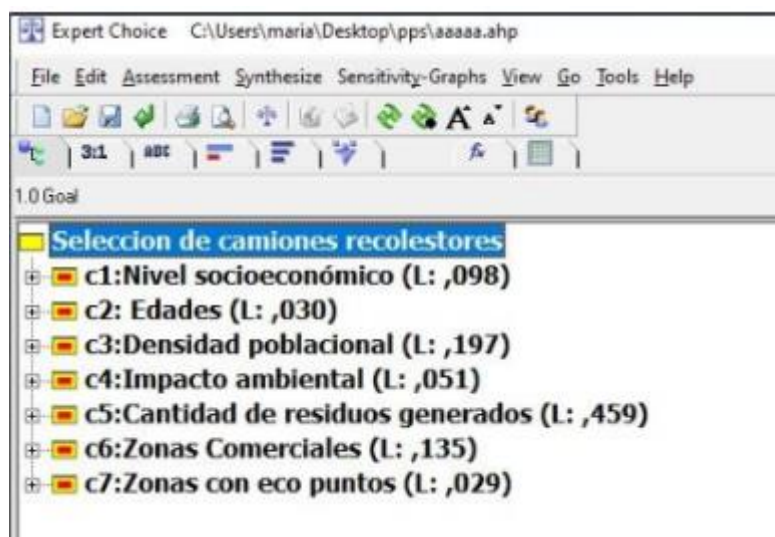


Fig. 1. Captura de pantalla del Expert Choice V.1.1. Fuente: elaboración propia.

Para cada criterio, se asignaron subcriterios que en estos casos fueron los camiones teniendo en cuenta, la codificación mostrada en la Tabla 2, en total se identificaron 24 subcriterios, los cuales se visualizan en la Fig. 2



Fig. 2. Captura de pantalla de Expert Choice V.1.1. Fuente: elaboración propia.

Una vez que se completaron todas las alternativas de selección para cada criterio, se procedió a asignarle sus respectivos pesos finalmente el software realizó la comparación de prioridades y de ese modo se pudo identificar a los camiones en orden de prioridad de más a menor importancia, obtenidos para cada día de la semana y resultando así aptos para realizar el análisis de caracterización.

Con el objeto de presentar la jerarquización por código de camiones, se elaboró la Tabla 3 donde se puede entender de manera rápida a que día, turno y número de camión corresponde. Por ejemplo: para el día lunes, el camión más representativo es el que corresponde al número 12062 con el recorrido nocturno, seguido por el camión V1 y en último lugar de importancia es el camión 12062 con el recorrido de la mañana.

Tabla 3 - Resultado selección de camiones Fuente: propia a través del software ExpertChoice V1.1

Alternativas seleccionadas						
Número y día de la muestra	Número de camión	Turno		Número y día de la muestra	Número de camión	Turno
Día 1	12062	Noche		Día 5	1132	Tarde
Lunes	V1	Noche		Viernes	11485	Tarde
4/12/23	12062	Mañana		8/12/23	V2	Tarde
Día 2	9907	Tarde		Día 6	12920	Noche
Martes	11332	Tarde		Lunes	9907	Mañana
5/12/23	12620	Tarde		11/12/23	11333	Mañana
Día 3	12062	Noche		Día 7	V3	Mañana
Miércoles	12062	Mañana		Martes	11333	Mañana
6/12/23	V1	Mañana		12/12/23	12920	Noche
Día 4	V4	Mañana		Día 8	11333	Mañana
Jueves	12920	Noche		Miércoles	12920	Noche
7/12/23	12620	Mañana		13/12/23	12920	Mañana

La aplicación de la metodología descrita permitió seleccionar de manera precisa los camiones recolectores de residuos más representativos para la ciudad de Oberá.

La jerarquización de alternativas es un método para la toma de decisiones usado en diferentes disciplinas (Tavella et al., 2013; Ramírez & Guzman ,2017; Tapiero et al., 2017; Beltrán Ayala et al., 2020; Rodríguez et al., 2020; Niezwida et al.,2023) que resultó de utilidad para el caso dado. Asimismo, el uso de software para jerarquizar alternativas ha demostrado ser una herramienta eficiente y rápida, ya que sin él se debería realizar cálculos con matrices de 7x7. Este tipo de software tiene la ventaja de valuar múltiples criterios y alternativas de manera sistemática y precisa, reduciendo significativamente el tiempo necesario para tomar decisiones complejas. Además, se resalta la capacidad del software para manejar grandes volúmenes de datos.

La implementación de software para la jerarquización de alternativas no solo aceleró el proceso de toma de decisiones, para seleccionar los camiones más representativos, sino que también mejoró la calidad y la consistencia de los resultados obtenidos, ya que evitó posibles errores humanos al realizar cálculos matriciales (Ishizaka & Labib, 2009; Erdogan et al.,2017).

4 Conclusiones

La aplicación del método AHP, por medio de la utilización del software permitió seleccionar los camiones recolectores más representativos para la ciudad de Oberá, asegurando un adecuado muestreo. Este enfoque demostró ser una herramienta óptima para la toma de decisiones basada en criterios claves de un municipio, más aún cuando la definición de criterios forma parte de un trabajo colaborativo.

El análisis significativo de los datos recolectados sobre las características y necesidades de las distintas zonas y barrios de la ciudad, permitió determinar que los camiones seleccionados cumplen con los criterios relevantes para el municipio, y posteriormente corroborado con personal municipal.

El enfoque metodológico facilitó la identificación de los vehículos más adecuados para la recolección de residuos, asimismo proporcionó una justificación en la selección del vehículo para el estudio de la caracterización de la basura en Oberá.

Referencias

- [1] Beltrán Ayala, J. M., Acurio Hidalgo, G. F., & Alulema Zurita, P. S. (2021). Método AHP de Saaty para determinar los factores del quantum indemnizatorio por daño inmaterial en materia penal en Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 249- 256. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v13n2/2218-3620-rus-13-02-249.pdf> (Acceso: 15/2/24)
- [2] Dávila Pinto, P. G., & García Salazar, M. A. (2017). Identificación de criterios relevantes para la toma de decisión multicriterio con aplicación del modelo AHP y escala de Saaty. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 4(2), 91-98.
- [3] Erdogan, S. A., Šaparauskas, J., & Turskis, Z. (2017). Decision making in construction management: AHP and expert choice approach. *Procedia engineering*, 172, 270-276.
- [4] Gobierno de Oberá. Oberá sustentable. Página oficial: <https://obera.gob.ar/categoria/vinculacion-y-desarrollo-economico/obera-sustentable/>
- [5] [Instituto Nacional de Estadística y Censos \(INDEC\). \(2023\). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022: Resultados definitivos. Buenos Aires: INDEC. Recuperado de https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-165](https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-165)
- [6] Ishizaka, A., & Labib, A. (2009). Analytic hierarchy process and expert choice: Benefits and limitations. *OR insight*, 22(4), 201-220.
- [7] Mendoza, Adel, Solano, Cristian, Palencia, Daniel, & Garcia, David. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(3), 348-360. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000300348>
- [8] Niezwida, S. R., Michalus, J. C., & Gavazzo, G. B. (2023). Alternativas para la localización de estaciones de clasificación de RSU en la Provincia de Misiones. *AACINI-Revista Internacional de Ingeniería Industrial*, (1), 74-84.
- [9] Podvezko, V. (2009). Aplicación de la técnica AHP. *Revista de economía y gestión empresarial*, (2), 181-189.
- [10] Ramírez, C. A. Y., & Guzman, Y. A. (2017). Estudio comparativo de técnicas de toma de decisiones multicriterio para la jerarquización de tecnologías de energías renovables a utilizar en la producción de electricidad. *Scientia et technica*, 22(3), 273-280.
- [11] Rodríguez, R. C., Muñoz, L. C., & Ayala, J. M. B. (2020). Evaluación de la empresa sobre el control interno aplicando AHP neutrosófico. *Investigación Operacional*, 680, 81-191.
- [12] Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of mathematical psychology*, 15(3), 234-281.
- [13] Tapiero, S. O., Barrios, D. T., & Guzman, N. G. (2017). Aplicación del proceso analítico jerárquico AHP para definir la mejor taza en evaluación de cafés especiales. Disponible en: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9128>
- [14] Tavella, M. A., Miropolsky, A., & Manera, R. M. (2013). Análisis comparativo de métodos multicriterio para definir la localización sustentable de parques industriales. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/546184>