



## Análisis de sostenibilidad de una propuesta de aprovechamiento integral de residuos en una zona cafetera

Joaquín Alberto Martínez Peña<sup>19</sup>  
Diana Montserrat Mendoza García<sup>20</sup>  
Daniel Esteban Redondo-Cruz<sup>21</sup>  
Johan Manuel Redondo<sup>22</sup>

▪ **Resumen** ▪ El café es una de las actividades económicas más importantes de Colombia. Aporta al producto interno bruto nacional 6,1 % y ha hecho conocer al país en el mundo. Sin embargo, esta actividad genera un desequilibrio económico en las familias de cafeteros, ya que de los tres dólares que se obtienen por cada taza de café vendida, el campesino solamente recibe 0,001 dólares de ganancia. Por otro lado, el 99,8 % de la biomasa vegetal se desecha y el mínimo restante se aprovecha para satisfacer la demanda social de café.

Cada año se producen alrededor de 16 millones de toneladas de residuos orgánicos en las plantaciones de café, que no se aprovechan, con las implicaciones ambientales que esto conlleva. Mientras, los cafetaleros y comunidades solo se benefician económicamente del grano de café, que cuando el precio no es con suficiencia alto, solo les permite atender sus necesidades básicas.

En este contexto, se ha propuesto como pregunta de investigación la siguiente: ¿cuál es la sostenibilidad de una propuesta de aprovechamiento integral de residuos en una zona cafetera?

En la pregunta de investigación se entiende que la sostenibilidad debe ser económica, ambiental y social y no solo partes de ella. Ahí, al realizarse la propuesta de aprovechamiento integral, no solo se busca obtener unos beneficios económicos de los desperdicios sino unos que se articulen a los contextos social y ambiental del plan de oportunidades por medio del cual se han articulado diferentes planes de negocios.

El objetivo general es analizar la sostenibilidad de una propuesta de aprovechamiento integral de residuos en una zona cafetera.

Los objetivos específicos son:

- Definir arreglo social, económico y ambiental para el aprovechamiento integral de residuos en una zona cafetera en el marco de la economía azul.

19 Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. kino982011@gmail.com

20 Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. dianamendoza981030@gmail.com

21 Universidad Católica de Colombia. daniel.redondo.410@gmail.com

22 Universidad Católica de Colombia. jmredondo@ucatolica.edu.co

- Desarrollar un modelo matemático para la evaluación sistémica de la propuesta de aprovechamiento integral de residuos en una zona cafetera.
- Calcular los beneficios y contrabeneficios financieros, sociales y ambientales de la propuesta de aprovechamiento integral de residuos en una zona cafetera.

Utilizando el marco de la economía azul se planteó un plan de aprovechamiento integral de los desechos del café, que corresponden al 98,8%. Este plan involucró la alimentación de animales, que producen estiércol, y con él, biocombustible; pero, además, al juntar estos residuos con el estiércol de los animales se puede crear un hongo consumible y, adicionalmente, producir compost que permite la reforestación y el aumento de las precipitaciones en la región.

Con el compost también se puede generar energía. Ahora, con la pulpa, se propuso producir una proteína consumible. Por otro lado, dado que la población genera residuos orgánicos, estos también serían utilizados para producir compost, mientras que residuos inorgánicos como el vidrio permiten crear espuma de vidrio para la construcción de edificios y con el plástico se obtiene gas sintético (denominado Syngas), que al juntarse con el metano del estiércol produce un gas que compite con el natural. El resultado de todas estas innovaciones es un plan de oportunidades que entreteje negocios para el beneficio común de la región.

Cada una de las líneas de negocio y la manera como se entretejen para dar lugar al plan de oportunidades que constituye la propuesta integral de aprovechamiento de residuos para una zona cafetera se presentó por medio de la dinámica de sistemas, siguiendo la metodología propuesta.

De este modo, se obtuvo un diagrama de niveles y flujos implementado en el *software* libre Vensim PLE 7.3.5, utilizando el método numérico Runge-Kutta 4 automático con tamaños de paso de 0,0625. Las simulaciones se realizaron para dos escenarios denominados *Business as usual* y *Business as vision*, cada uno de los cuales representaba el escenario en el que no se realizaba ninguna implementación y el escenario en el que se implementaba el plan de aprovechamiento integral propuesto, respectivamente.

A partir de las simulaciones se hicieron comparaciones con los indicadores de sostenibilidad definidos como rentabilidad, empleo, secuestro de carbono y cantidad de residuos sólidos. De ahí surgieron las conclusiones sobre los beneficios y contrabeneficios.

Para la definición de un arreglo social, económico y ambiental de una propuesta de aprovechamiento integral, en el marco de la economía azul, se entretejieron diferentes innovaciones sobre los residuos, que se pusieron en marcha en una cascada de valor de la propuesta, para llegar a la conclusión de que el arreglo seleccionado daba lugar a múltiples beneficios.



Para desarrollar un modelo matemático para la evaluación sistémica, se siguió la metodología de la dinámica de sistemas, de la que se obtuvo un método de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden, representado a través de un diagrama de niveles y flujos. Se concluye que esta metodología es la más adecuada para la representación de este tipo de sistemas.

Para calcular los beneficios y contrabeneficios financieros, sociales y ambientales de la propuesta se evaluó el sistema en los escenarios *Business as usual* y *Business as vision*, comparando simulaciones preliminares.

Se infiere de los resultados preliminares, que la propuesta de aprovechamiento integral de residuos realizada para una zona cafetera, no solamente es más viable que la *Business as usual* sino que también es sostenible.

**Palabras clave:** desarrollo sostenible; aprovechamiento integral de residuos; economía azul.

