

PROPUESTA PARA ENRIQUECER EL PROGRAMA DE LAS ASIGNATURAS DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE ESTANCIA ACADÉMICA, DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNAM, CON LA INTEGRACIÓN DE ESTUDIOS DE CASO. APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: PARTE 2. NEUMÁTICOS DE DESECHO EN UNA ZONA DE LA ALCALDÍA DE COYOACÁN EN LA CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO, ANÁLISIS DE PREFECTIBILIDAD ECONÓMICA

Proposal to enrich the Program of the course on Environmental Engineering and Academic Stay of the Chemical Engineering curriculum at the UNAM Facultad de Química, using Case studies. Holistic use of urban solid residues: Part 2. Waste tires in a zone of Coyoacán, Mexico City, Mexico, economic prefactibility analysis

Marielle Fernanda BENÍTEZ-MERCADO*¹, Landy Irene RAMÍREZ-BURGOS¹, Marisela BERNAL-GONZÁLEZ¹, Rolando Salvador GARCÍA-GÓMEZ¹, Beatriz ESPINOSA-AQUINO², María Irene CANO-RODRÍGUEZ³, Julio Alberto SOLÍS-FUENTES⁴, María del Carmen DURÁN-DOMÍNGUEZ-de-BAZÚA¹

¹UNAM, Universidad Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. Avenida Universidad Número 3000. Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México. Tel: (+55) 56 22 53 01 al 04. Fax: (+55) 56 22 53 00. ²BUAP, Instituto de Ciencias. ³Universidad de Guanajuato (jubilada). ⁴Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Básicas.

Correos-e (e-mail)*: marielle.fbm@gmail.com, landy@unam.mx, marisela_bernal2000@yahoo.com.mx, rolandoga2000_a@yahoo.com, bett_espinosa@hotmail.com, irene@ugto.mx, jsolis@uv.mx, mcduran@unam.mx

Resumen

En este proyecto se abordaron las distintas formas de aprovechamiento de residuos sólidos a los que se pueden someter las llantas una vez que fueron desechadas al final de su vida útil, para así minimizar su impacto negativo en el ambiente. Tomando en cuenta el marco legal internacional y nacional vigente y aplicable al manejo de las llantas como residuo. Se desarrolló un estudio de caso que contemplaba a los sitios de recepción informal de neumáticos de desecho (conocidos como llantas en México) ubicados en la Alcaldía Coyoacán en la Ciudad de México, obteniendo información sobre su posible aprovechamiento. Con esta información se plantearon varios modelos de manejo del residuo para dar solución a este problema ambiental y se evaluaron mediante un estudio de prefactibilidad económica para determinar el modelo que mejor se adecuara al sitio de estudio.

Palabras clave: Aprovechamiento de residuos, neumáticos (llantas)

Abstract

This project addressed the different ways of solid waste management to which the tires can be subjected once they were discarded at the end of their useful life, in order to minimize their negative impact on the environment. Taking into account the international and national legal framework in force and applicable to the management of the tires as waste. A case study that contemplated the informal reception sites of waste tires located in Coyoacán, Mexico City was developed, obtaining an approximate study on the number of tires that could be subject to management. With this estimated

information, several models of waste management were proposed to solve this environmental problem, and they were evaluated through an economic feasibility study to determine the model that would suit the study site.

Keywords: *Solid waste management, tires*

Introducción

Como se mencionó en la primera parte de este estudio, se desarrolló material didáctico basado en estudios de caso realizados por los estudiantes durante el semestre que sirvió para su propia formación académica y profesional en el marco de un proyecto PAPIME de la DGAPA-UNAM. Con los mejores estudios de caso se produjo un manual que sirviera de fundamento para que las siguientes generaciones de estudiantes elaboren propuestas de solución a problemáticas ambientales específicas para micro, mini, pequeñas y medianas empresas mexicanas (MiPyME), como mecanismo que fortalezca el desarrollo profesional de los estudiantes de la carrera de ingeniería química. Esta participación directa en estudios de caso aplicados a la solución de problemáticas ambientales estuvo dentro de dos asignaturas, Ingeniería Ambiental (clave 1742) (3 horas-semana teórica) y Estancia Académica (clave 0216) (24 horas-semana experimental). Los temas de estudios de caso propuestos por los académicos participantes se aplicaron en los grupos de las asignaturas de Ingeniería Ambiental, Clave 1742, de 6 créditos y Estancia Académica, Clave 0216, de 24 créditos, de la Facultad de Química. Los alumnos de la asignatura de Ingeniería Ambiental debieron apoyarse en los conocimientos adquiridos a lo largo del curso, pudiendo trabajar individualmente o en equipos pequeños de dos o máximo tres personas para abordar el estudio de caso seleccionado, realizando visitas a la empresa participante si la hubiere. Al término del semestre presentaron los resultados en un informe escrito y una presentación oral. Con los mejores informes finales se conformó un libro electrónico denominado Manual de Ingeniería Ambiental, que permite al siguiente semestre ilustrar a los nuevos estudiantes sobre esta modalidad del proceso enseñanza-aprendizaje y su posible aplicación al estudio de caso que ellos seleccionen. De esta asignatura obligatoria se puede derivar la asignatura terminal comprensiva Estancia Académica, Clave 0216, de 24 créditos, que culmina en el desarrollo y complementación del estudio de caso que podría plasmarse en su tema de tesis y su titulación. Un estudio de caso se da como ejemplo: **APROVECHAMIENTO INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS:** Neumáticos de desecho. Se diseñó un caso de estudio para evaluar la situación en la Alcaldía de Coyoacán, Ciudad de México, México, en materia de llantas de desecho para proponer soluciones prácticas para un aprovechamiento integral del residuo, y sujeto a los métodos de valorización energética de residuos, al marco legal aplicable en México y a un estudio de factibilidad económica. La primera autora, ahora profesionalista, cursó ambas asignaturas: Ingeniería Ambiental y Estancia Académica, con el resto de los autores, que le sirvieron de base para la redacción final de la tesis profesional con la que obtuvo el título de Ingeniera Química por la Facultad de Química de la UNAM.

Problemática

Uno de los problemas de los residuos sólidos urbanos es que, conforme pasa el tiempo, aumenta la población y de la misma forma los residuos. Un residuo sólido urbano también puede ser clasificado como residuo de manejo especial. La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos define a los residuos de manejo especial como aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos, o como residuos sólidos urbanos, o aquellos que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (LGPGIR, 2003).

Los neumáticos de desecho que, en México, se conocen coloquialmente como “llantas usadas” ya que a la parte metálica no se le conoce como llanta sino con el anglicismo “rin” (por *ring* en inglés) es uno de estos residuos de manejo especial. Como se mencionó en la primera parte, según el Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos (SEMARNAT, 2012a,b) se desechan 1,011,033 toneladas por año de llantas usadas, de las cuales solamente se recicla el 5%. Un 2% adicional se utiliza para generar energía mediante su combustión controlada. Otro 2% se traslada a centros de acopio autorizados y no se sabe su destino final. El 91% restante termina en tiraderos clandestinos, carreteras, ríos o desaparecen en incendios accidentales o provocados.

Los componentes principales de este material, como se mencionó en la primera parte, son caucho natural, caucho sintético como estireno-butadieno, poli-isoprenos sintéticos y polibutadienos, negro de humo, azufre, óxido de zinc, cadmio, aceites minerales, refuerzos de acero y textiles, siendo el caucho el componente que se encuentra mayoritariamente en las llantas (Química y algo más, 2015).

El caucho natural o hule es un polímero que se obtiene a partir de una incisión en la corteza del árbol *Hevea brasiliensis*, aunque es originario de Mesoamérica donde se conocía con el nombre de *ulcuáhuatl* (árbol del hule en náhuatl, por *ulli*=hule y *cuáhuatl*=árbol, según Cabrera, 2002), de donde se extrae el látex que se somete a un proceso de calentamiento o a ciertos agentes químicos como ácidos. También se utilizan algunos compuestos poliméricos. Entre los más utilizados para la fabricación de llantas se encuentra el estireno-butadieno (*SBR*, por sus siglas en inglés), los poli-isoprenos sintéticos (*IR*, por sus siglas en inglés) y los polibutadienos (*BR*, por sus siglas en inglés) (Tecnología de los plásticos, 2011).

A continuación se presenta un análisis de prefactibilidad de varias opciones para reutilizar este residuo de manejo especial con base en lo establecido en la Parte 1 de esta investigación.

Factibilidad económica

Para solucionar el problema planteado, es necesario un análisis de factibilidad económica para determinar la mejor opción de aprovechamiento. En esta sección se abordarán los aspectos económicos relacionados con las posibles soluciones describiendo los modelos para el caso de estudio, determinando las ventajas y desventajas de cada modelo y, así, contribuir a la toma de decisión del modelo apropiado. La Tabla 1 resume los distintos modelos que se abordarán en las siguientes secciones. En todos los modelos de manejo solamente se considera una forma de transporte del residuo. Por este motivo, no es un factor importante para la determinación del mejor modelo de manejo y no se describirá en esta sección.

Modelo	Transporte	Almacén	Industria Cementera
Modelo A	Transporte	Almacén	Industria Cementera
Modelo B	Transporte	Almacén	Proveedor
Modelo C	Transporte	Trituración simple	Industria Cementera
Modelo D	Transporte	Trituración simple	Proveedor
Modelo E	Transporte	Trituración especializada	Proveedor
Modelo F	Transporte	Trituración especializada	Fabricación de impermeabilizante
Modelo G	Transporte	Trituración especializada	Fabricación de pisos

Modelo A

Para el almacén, se propuso la adquisición del terreno. Esto aumenta el monto de la inversión, pero minimiza los costos de operación. Los costos de compra de almacenes en la Alcaldía Coyoacán son de aproximadamente 10 millones de pesos (superficie, 1,800 m²), mientras que los costos de renta en esta zona son de 110 mil pesos (1,000 m²) (Viva anuncios, 2017).

El traslado a la industria cementera sería la siguiente etapa después del almacenamiento. Las llantas de desecho serían previamente contabilizadas en el almacén y después se formarían lotes con el número de llantas que determine la industria cementera para su co-procesamiento. El flujo de efectivo en esta etapa sería únicamente el combustible del camión tipo “torton” de 14 m³ de capacidad, el cual por lo general tiene de uno a dos depósitos de diésel de 500 litros cada uno (cuyo precio al 25/10/2017 es de 17.54 pesos según Milenio, 2017), y el rendimiento promedio es de 40 litros por cada 100 km recorridos. Las plantas cementeras de CEMEX más cercanas a la zona de estudio son las plantas de Huixquilucan en el Estado de México (a 44 km) y la de Cerro Jardín en Atotonilco de Tula, Hidalgo (a 100km). Como parte de los costos fijos se encuentran los sueldos del personal encargado del transporte y del control de las llantas de desecho dentro del almacén, así como el uso de agua dentro del almacén para la limpieza de las llantas (SACMEX, 2016). La Tabla 2 muestra los montos monetarios de inversión, costos de operación fijos y variables y algunas consideraciones adicionales para determinar el monto total, como el tamaño del almacén, número de empleados, y los litros de diésel necesarios para el transporte de las llantas.

El objetivo principal de todos los modelos de aprovechamiento es recolectar todos los neumáticos de desecho en la Alcaldía Coyoacán para su aprovechamiento. Por ello, las ventas esperadas anuales se encuentran en función de la masa del residuo que se desea tratar. Tomando como ejemplo el municipio de Nuevo Laredo en Tamaulipas, México, en donde cada año se recolectan 200 mil neumáticos al año para transportarlos a la industria cementera Apasco en el estado de Coahuila y se venden a la cementera a 8 pesos por unidad (Garc, 2006), se utilizará este valor para aproximar el ingreso en el flujo de efectivo. En la Tabla 2 se muestra el flujo de efectivo de este modelo.

Tabla 2. Modelo A			
Inversión			
Artículo	Característica		Monto [MXN]
Almacén	Compra de 1800 m ²		\$10,000,000.00
Camión	Torton de volteo 14 m ³		\$635,000.00
Suma	\$10,635,000.00		
Costos de operación			
Artículo	Cantidad	Monto (1 mes) [MXN]	Monto anual [MXN]
Agua [m ³]	30	\$597.33	\$7,167.96
Combustible	500 litros	\$8,770.00	\$105,240.00
Personal	1 choferes	\$6,000.00	\$72,000.00
	2 en almacén	\$16,000.00	\$192,000.00
Suma	\$369,240.00		
Ingresos			
Ventas anuales [unidades]	Precio unitario [MXN]		Monto anual [MXN]
24000	\$8.00		\$192,000.00

Modelo B

En este modelo, la etapa que sigue a la recolección y del almacenamiento, es el traslado a una industria de impermeabilizantes o de fabricación de pisos que usen como materia prima las llantas de desecho y que se encuentren ubicadas dentro de la Ciudad de México. En este caso, solamente se vería afectado el costo variable de operación de acuerdo al rendimiento de combustible proporcionado por el camión, fijando el precio del Modelo de aprovechamiento A. La Tabla 3 muestra el flujo de efectivo correspondiente

Tabla 3. Modelo B			
Inversión			
Artículo	Característica	Monto [MXN]	
Almacén	Compra de 1800 m ²	\$10,000,000.00	
Camión	Torton de volteo 14 m ³	\$635,000.00	
Suma		\$10,635,000.00	
Costos de operación			
Artículo	Cantidad	Monto (1 mes) [MXN]	Monto anual [MXN]
Agua [m ³]	30	\$597.33	\$7,167.96
Combustible	250 litros	\$4,385.00	\$52,620.00
Personal	1 chofer	\$6,000.00	\$72,000.00
	2 en almacén	\$16,000.00	\$192,000.00
Suma		\$316,620.00	
Ingresos			
Ventas anuales [unidades]	Precio unitario [MXN]	Monto anual [MXN]	
24000	\$8.00	\$192,000.00	

Modelo C

Otra opción de manejo del residuo, contempla la trituración simple de las llantas dentro del almacén y, posteriormente, transportar el residuo a la industria cementera para ser procesado directamente. La adquisición del equipo tendrá un impacto directo en la inversión, así como el incremento de empleados que operarán los equipos de trituración y la energía que será requerida para la operación de los equipos lo tendrán en los costos fijos de operación. De acuerdo con las características de cada equipo se determinó que el consumo de energía por mes es de 2000kW y con datos reportados en la Comisión Federal de Electricidad se calculó la tarifa que deberá pagar la planta (CFE, 2017). En el sitio electrónico Entrepreneur se reporta que una llanta triturada con un tamaño de 2.5 pulgadas, tiene un valor de 8 pesos mexicanos por kg (Garc, 2006); así como, el valor de una trituradora industrial de 20HP (Mercado Libre México, 2017a), pero es importante tomar en cuenta que se necesitará un empaque para esos trozos de llanta de desecho. Comúnmente, se utilizan costales de *rafia* (palabra del malgache, lengua de Madagascar, África, dada a la palmera de África y América que da una fibra muy resistente y flexible) de 50 kg de capacidad. El número de costales reportado está en función de las llantas de desecho que se contempló tratar en la primera parte de esta investigación (3,920 llantas/mes, o 27,440 kg), y el precio promedio es de 3.10 pesos por cada costal (Mercado Libre México, 2017b). Los montos de capitales relacionados en este modelo se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Modelo C		
Inversión		
Artículo	Característica	Monto [MXN]

Tabla 4. Modelo C			
Almacén	Compra de 1800 m ²		\$10,000,000.00
Camión	Torton de volteo 14 m ³		\$635,000.00
Trituradora	marca Shreeder 20HP		\$350,000.00
Suma	\$11,627,611.20		
Costos de operación			
Artículo	Cantidad	Monto (1 mes) [MXN]	Monto anual [MXN]
Agua [m ³]	30	\$597.33	\$7,167.96
Electricidad [kWmes]	2000	\$4,482.32	\$53,787.88
Combustible	500 litros	\$8,770.00	\$105,240.00
Personal	1 chofer	\$6,000.00	\$72,000.00
	2 en almacén	\$16,000.00	\$192,000.00
	2 empleados	\$16,000.00	\$192,000.00
Costales	6586 costales de 50 kg c/u		\$20,415.36
Suma	\$581,655.36		
Ingresos			
Ventas anuales [kg]		Precio [MXN/kg]	Monto anual [MXN]
168000		\$8.00	\$1,344,000.00

Modelo D

Este modelo de aprovechamiento es similar al anterior, pero en este caso, los costos variables de operación disminuirán ya que el destino final del residuo es una industria de fabricación de impermeabilizantes o de pisos, ubicada dentro de la Ciudad de México. En la Tabla 5 se muestra el flujo de efectivo para este modelo.

Tabla 5. Modelo D			
Inversión			
Artículo	Característica		Monto [MXN]
Almacén	Compra de 1800 m ²		\$10,000,000.00
Camión	Torton de volteo 14 m ³		\$635,000.00
Trituradora	marca Shreeder 20HP		\$350,000.00
Suma	\$10,985,000.00		
Agua [m ³]	30	\$597.33	\$7,167.96
Electricidad [kWmes]	2000	\$4,482.32	\$53,787.88
Combustible	250 litros	\$4,215.00	\$50,580.00
Personal	1 chofer	\$6,000.00	\$72,000.00
	2 en almacén	\$16,000.00	\$192,000.00
	2 empleados	\$16,000.00	\$192,000.00
Costales	3360 costales de 50 kg c/u		\$10,415.00
Suma	\$515,996.00		
Ingresos			
Ventas anuales [kg]		Precio [MXN/kg]	Monto anual [MXN]
168000		\$8.00	\$1,344,000.00

Modelo E

En algunos casos, la trituración especializada eleva el valor de los residuos de llanta. Por ello, este modelo plantea la adquisición de una línea de reciclaje. Actualmente se encuentra en el mercado como un paquete compuesto por cinco máquinas, las cuales, cortan ambas caras de la llanta, después la cortan en cuerdas, luego trituran en pedazos la llanta, sacan el cinturón de acero de la llanta y separan los remanentes del caucho mediante un molino. El costo aproximado de la unidad de reciclaje de llantas es de 2.5 millones de pesos (Mercado Libre México, 2017c) y su adquisición también aumentará los costos fijos de operación al necesitar más empleados que se hagan cargo de cada uno de los equipos de trituración. Por otra parte, se consultó el precio al que se vende una tonelada de llanta de desecho molida dependiendo del tamaño final del gránulo (Mercado Libre México, 2017d). Dichos datos pueden observarse en la Tabla 6.

Tabla 6. Modelo E			
Inversión			
Artículo	Característica		Monto [MXN]
Almacén	Compra de 1800 m ²		\$10,000,000.00
Camión	Torton de volteo 14 m ³		\$635,000.00
Banda alimentadora	Línea de reciclaje con bandas de 2m x 1m; pistones hidráulicos; cortadora de 1Hp; trituradora de 20HP		\$2,745,000.00
Destalonadora			
Cortadora			
Trituradora			
Granulador			
Banda magnética			
Banda transportadora			
Suma	\$13,380,000.00		
Costos de operación			
Artículo	Cantidad	Monto (1 mes) [MXN]	Monto anual [MXN]
Agua [m ³]	30	\$597.33	\$7,167.96
Electricidad [kWmes]	2000	\$4,482.32	\$53,787.88
Combustible	250 litros	\$4,215.00	\$50,580.00
Personal	1 chofer	\$6,000.00	\$72,000.00
	2 en almacén	\$16,000.00	\$192,000.00
	8 empleados	\$80,000.00	\$960,000.00
Costales	3360 costales de 50 kg c/u		\$10,416.00
Suma	\$1,284,996.00		
Ingresos			
Ventas anuales [ton]	Tamaño	Precio [MXN/ton]	Monto anual [MXN]
42	3 a 6 mm	\$3500,00	\$147,000.00
42	1 a 3 mm	\$9000,00	\$378,000.00
42	<1mm	\$10000,00	\$420,000.00
42	polvo	\$11000,00	\$462,000.00
Suma	\$1,407,000.00		

Modelo F

El Modelo F se refiere a la fabricación de impermeabilizante a partir de trozos de llanta que serán triturados y mezclados con estireno acrílico en emulsión y resina de silicona líquida hasta obtener el producto impermeabilizante que será envasado en cubetas de 15 litros (Grupo Pasa Bajío. 2009; Quiminet, 2017a,b). Al igual que el modelo anterior, es importante realizar el estudio de mercado para determinar la demanda del producto y el precio de venta, sin embargo se utilizó un precio promedio a partir de otros impermeabilizantes con llantas recicladas, fijándolo en \$800.00 por cubeta. En cuanto a las materias primas, el estireno acrílico en emulsión tiene un precio promedio en el mercado de \$5,040.00 por cada bote con 200 kg, utilizando 14,634 kg al mes; y la resina de silicona líquida tiene un precio de \$45.00 por litro, utilizando 6,272 litros al mes. En la Tabla 7 se muestra el flujo de efectivo correspondiente.

Tabla 7. Modelo F			
Inversión			
Artículo	Característica		Monto [MXN]
Almacén	Compra de 1800 m ²		\$10,000,000.00
Banda alimentadora	Línea de reciclaje con bandas de 2m x 1m; pistones hidráulicos; cortadora de 1HP; trituradora de 20HP		\$2,745,000.00
Destalonadora			
Cortadora			
Trituradora			
Granulador			
Banda magnética			
Banda transportadora			
Mezclador	De 1600 L con serpentín y enchaquetado		\$100,000.00
Envasadora	Opera a 120v		\$37,000.00
Tanques de almacenamiento	1 de 1000 L		\$75,000.00
Tanques de almacenamiento	2 de 3500 L		\$52,000.00
Suma	\$13,009,000.00		
Costos de operación			
Artículo	Cantidad	Monto (1 mes) [MXN]	Monto anual [MXN]
Agua [m ³]	30	\$597.33	\$7,167.96
Electricidad [kWmes]	2000	\$4,482.32	\$53,787.88
Cubetas 15 L	1820	\$72,800.00	\$873,600.00
Estireno acrílico en emulsión [kg]	14634.66667	\$368,793.60	\$4,425,523.20
Resina de silicona líquida [L]	6272	\$276,958.32	\$3,323,499.79
Personal	9 operadores	\$54,000.00	\$648,000.00
	supervisor	\$20,000.00	\$240,000.00
	contador	\$15,000.00	\$180,000.00
	soporte técnico	\$10,000.00	\$120,000.00
	ventas	\$8,000.00	\$96,000.00

Tabla 7. Modelo F			
Inversión			
Artículo	Característica		Monto [MXN]
	auxiliar limpieza	\$3,000.00	\$36,000.00
Suma	\$10,003,578.83		
Ventas anuales			
Cantidad anual [cubetas/año]	Precio unitario [MXN]		Total [MXN]
21952	\$800.00		\$17,561,600.00

Modelo G

Este modelo, propone la elaboración de piso de caucho dentro del almacén, es decir, el equipamiento de una fábrica de pisos a pequeña escala y, para ello, es necesario disponer de una línea de trituración especializada, prensas de calor, moldes, láminas decorativas, cajas para empaquetar el producto terminado, un punto de venta del piso fabricado y más operadores. Un aspecto fundamental para la aplicación de este modelo es la elaboración de un estudio de mercado para conocer el precio del producto, determinar el sitio óptimo pero, sobre todo, la demanda y oferta del mismo para garantizar que el proyecto sea viable. Por tanto, este modelo requiere de un análisis más detallado y en la presente investigación solamente permanecerá como una propuesta de estudio.

Análisis de los modelos de aprovechamiento a partir de herramientas financieras

Una vez que se han determinado los egresos e ingresos de cada modelo, se pueden establecer los flujos de efectivo anuales. Para este caso de estudio se considerará que no hay fluctuaciones en el mercado, por lo que los flujos de efectivo serán constantes con la finalidad de disminuir la complejidad del análisis. En la Tabla 8 se muestran los flujos de efectivo para cada modelo. Algunos conceptos financieros serán abordados a continuación para utilizarlos en la elección del mejor modelo de aprovechamiento.

Tabla 8. Flujos de efectivo				
	Inversión	Ingresos	Egresos	Flujo
Modelo A	\$10,635,000.00	\$192,000.00	\$369,240.00	-\$177,240.00
Modelo B	\$10,635,000.00	\$192,000.00	\$316,620.00	-\$124,620.00
Modelo C	\$11,617,611.84	\$1,344,000.00	\$571,656.00	\$772,344.00
Modelo D	\$10,985,000.00	\$1,344,000.00	\$516,996.00	\$827,004.00
Modelo E	\$13,380,000.00	\$1,407,000.00	\$1,284,996.00	\$122,004.00
Modelo F	\$13,009,000.00	\$17,561,600.00	\$10,003,578.83	\$7,558,021.17

a) Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es una relación de rendimiento de ganancia anual para los inversionistas (rentabilidad). En otros términos, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto y se expresa en porcentaje (Economipedia, 2017). Para calcularlo se emplea el modelo siguiente:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} - I_0 = \frac{S_1}{(1+i)^1} + \frac{S_2}{(1+i)^2} + \frac{S_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} - I_0 = 0$$

donde $F_n = s$ = flujo de efectivo, e i = tasa de descuento

b) Tasa de descuento

Refleja el costo que involucra tomar una decisión y no otra; es la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente, por lo que también se le conoce como costo o tasa de oportunidad (Pymes futuro, 2013). Por lo general, el costo de oportunidad se expresa en porcentaje y varía entre el 10 al 20%. Para la evaluación de los modelos de aprovechamiento se fijará un valor promedio de 15%.

c) Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. Para ello, primero se debe construir los diagramas de flujo y después se observa cual es el último saldo negativo. También se puede calcular al dividir el monto de la inversión entre cada flujo de efectivo acumulado, es decir, el flujo de efectivo inicial junto con el flujo de efectivo correspondiente al año en el que se está calculando la proyección. Cuando esta relación sea igual a uno, entonces será el año de recuperación de la inversión (Pymes futuro, 2010).

d) Valor presente neto (VPN)

Permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero de maximizar la inversión. Si es positivo significará que el valor de la empresa tendrá un incremento equivalente al monto del Valor Presente Neto. Si es negativo quiere decir que la empresa reducirá su riqueza en el valor que arroje el VPN. Si el resultado del VPN es cero, la empresa no modificará el monto de su valor. Es importante tener en cuenta que el valor del Valor Presente Neto depende de: la inversión inicial previa, las inversiones durante la operación, los flujos netos de efectivo, la tasa de descuento y el número de periodos que dure el proyecto (Pymes futuro, 2013).

e) Índice de rotación de capital (IRC)

$$IRC = \frac{\text{Ventas}}{\text{Inversión total}}$$

f) Capital semilla

Es una inyección de fondos, conocimiento y experiencia por parte de uno o varios inversores hacia una empresa, por lo general de baja escala. A cambio del capital semilla, los inversores adquieren una parte del negocio, normalmente para venderlo cuando haya crecido y obtener plusvalías. Uno de los grandes inversionistas de México es la Secretaría de Economía (SE) que invierte en pequeños empresarios y puede aportar hasta 1.5 millones de pesos según el programa (Revista PYME, 2017). Para la evaluación de los modelos se fijó un capital semilla aproximado de un millón de pesos. La Tabla 9 muestra los resultados de la evaluación financiera que se realizó, de acuerdo con los conceptos planteados con anterioridad. La Figura 1 presenta el periodo de recuperación de la inversión. Se observa que de los

modelos de aprovechamiento abordados dos de ellos no son viables para su aplicación, ya que a 10 años de operación no se obtiene ninguna remuneración de la inversión (no se obtiene el PRI y el VPN y la TIR continúan siendo negativos), los flujos de efectivo proyectados no satisfacen la rentabilidad del proyecto A ni B.

Tabla 9. Factibilidad económica									
Modelo	A			B			C		
Inversión	\$10,635,000.00			\$10,635,000.00			\$11,604,656.00		
Capital semilla	1,000,000			1,000,000			1,000,000		
Tasa de descuento	10%			10%			10%		
Año	Flujos de efectivo								
	Flujo neto	Flujo acumulado	I/F	Flujo neto	Flujo acumulado	I/F	Flujo neto	Flujo acumulado	I/F
0	- \$10,635,000.00			- \$10,635,000.00			- \$11,604,656.00		
1	\$786,840.00	\$786,840.00	13.5	\$837,420.00	\$837,420.00	12.7	\$7,444,344.00	\$7,444,344.00	1.56
2	\$786,840.00	\$1,573,680.00	6.76	\$837,420.00	\$1,674,840.00	6.35	\$7,444,344.00	\$14,888,688.00	0.78
3	\$786,840.00	\$2,360,520.00	4.51	\$837,420.00	\$2,512,260.00	4.23	\$7,444,344.00	\$22,333,032.00	0.52
4	\$786,840.00	\$3,147,360.00	3.38	\$837,420.00	\$3,349,680.00	3.17	\$7,444,344.00	\$29,777,376.00	0.39
5	\$786,840.00	\$3,934,200.00	2.70	\$837,420.00	\$4,187,100.00	2.54	\$7,444,344.00	\$37,221,720.00	0.31
6	\$786,840.00	\$4,721,040.00	2.25	\$837,420.00	\$5,024,520.00	2.12	\$7,444,344.00	\$44,666,064.00	0.26
7	\$786,840.00	\$5,507,880.00	1.93	\$837,420.00	\$5,861,940.00	1.81	\$7,444,344.00	\$52,110,408.00	0.22
8	\$786,840.00	\$6,294,720.00	1.69	\$837,420.00	\$6,699,360.00	1.59	\$7,444,344.00	\$59,554,752.00	0.19
9	\$786,840.00	\$7,081,560.00	1.50	\$837,420.00	\$7,536,780.00	1.41	\$7,444,344.00	\$66,999,096.00	0.17
10	\$786,840.00	\$7,868,400.00	1.35	\$837,420.00	\$8,374,200.00	1.27	\$7,444,344.00	\$74,443,440.00	0.16
Flujo anual neto	-\$276,660.00			-\$226,080.00			\$6,283,878.40		
TIR	-5%			-4%			64%		
VPN	-\$5,800,208.82			-\$5,489,416.61			\$34,137,615.27		
PRI [año]	-			-			2		

Tabla 9. Factibilidad económica (Continúa)

Modelo	D			E			F		
Inversión	\$10,985,000.00			\$13,135,000.00			\$13,009,000.00		
Capital semilla	1,000,000			1,000,000			1,000,000		
Tasa de descuento	10%			10%			10%		
Año	Flujos de efectivo								
	Flujo neto	Flujo acumulado	I/F	Flujo neto	Flujo acumulado	I/F	Flujo neto	Flujo acumulado	I/F
0	\$10,985,000.00			\$13,135,000.00			-\$13,009,000.00		
1	\$7,494,924.00	\$7,494,924.00	1.47	\$7,104,924.00	\$7,104,924.00	1.85	\$7,558,021.17	\$7,558,021.17	1.72
2	\$7,494,924.00	\$14,989,848.00	0.73	\$7,104,924.00	\$14,209,848.00	0.92	\$7,558,021.17	\$15,116,042.34	0.86
3	\$7,494,924.00	\$22,484,772.00	0.49	\$7,104,924.00	\$21,314,772.00	0.62	\$7,558,021.17	\$22,674,063.51	0.57
4	\$7,494,924.00	\$29,979,696.00	0.37	\$7,104,924.00	\$28,419,696.00	0.46	\$7,558,021.17	\$30,232,084.68	0.43
5	\$7,494,924.00	\$37,474,620.00	0.29	\$7,104,924.00	\$35,524,620.00	0.37	\$7,558,021.17	\$37,790,105.85	0.34
6	\$7,494,924.00	\$44,969,544.00	0.24	\$7,104,924.00	\$42,629,544.00	0.31	\$7,558,021.17	\$45,348,127.02	0.29
7	\$7,494,924.00	\$52,464,468.00	0.21	\$7,104,924.00	\$49,734,468.00	0.26	\$7,558,021.17	\$52,906,148.19	0.25
8	\$7,494,924.00	\$59,959,392.00	0.18	\$7,104,924.00	\$56,839,392.00	0.23	\$7,558,021.17	\$60,464,169.36	0.22
9	\$7,494,924.00	\$67,454,316.00	0.16	\$7,104,924.00	\$63,944,316.00	0.21	\$7,558,021.17	\$68,022,190.53	0.19
10	\$7,494,924.00	\$74,949,240.00	0.15	\$7,104,924.00	\$71,049,240.00	0.18	\$7,558,021.17	\$75,580,211.71	0.17
Flujo anual neto	\$6,396,424.00			\$5,791,424.00			\$426,915,317.54		
TIR	68%			53%			57%		
VPN	\$35,068,063.47			\$30,521,682.30			\$33,431,768.27		
PRI [año]	2			2			2		

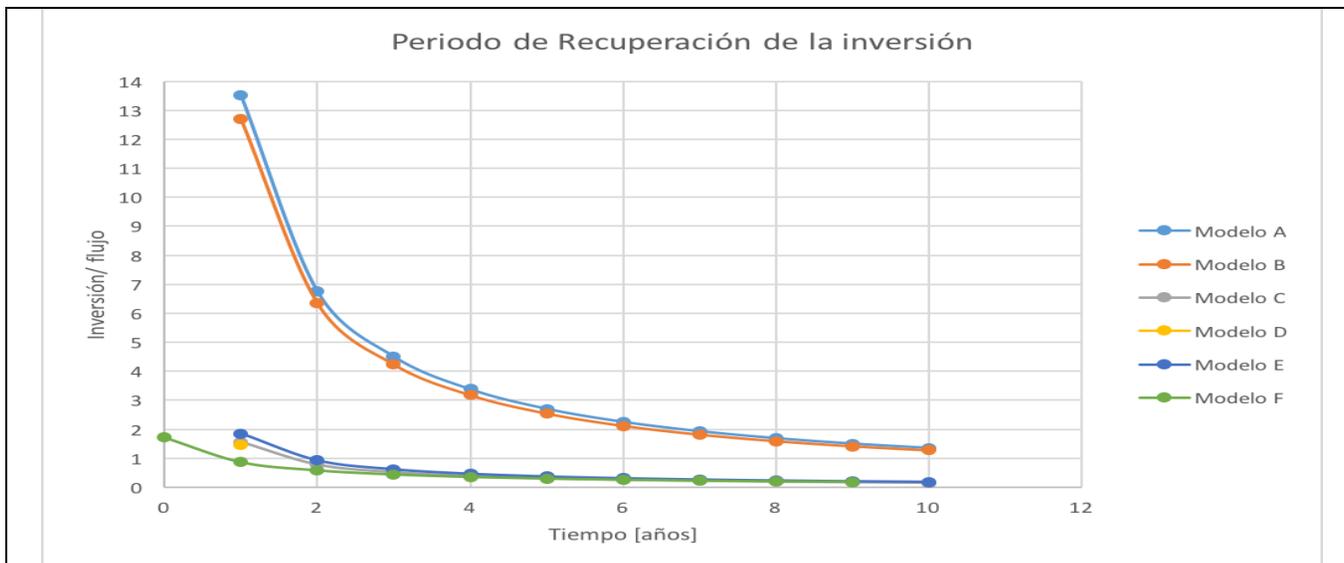


Figura 1. Periodo de recuperación de la inversión (Elaboración propia con datos de la Tabla 9)

Los modelos C, D, E y F, tienen un mejor comportamiento en el mercado.

Para los tres, el PRI es en el segundo año de operación.

La TIR y el VPN tienen valores similares entre sí, por lo que cualquier modelo puede aplicarse.

En relación con el monto de la inversión, el modelo de aprovechamiento que tiene una mayor rentabilidad es el D, ya que el flujo de efectivo es mayor que en los otros dos modelos y requiere de una menor inversión.

Aunque todos los modelos de solución se plantearon con base en el cuidado del ambiente, aquellos que involucran la incineración, requieren de un seguimiento periódico para garantizar que las emisiones de contaminantes cumplan con la normativa correspondiente, la NOM-040-SEMARNAT-2002 (DOF, 2002) y evitar que se genere un problema ambiental adicional, sobre todo en el modelo C que involucra una incineración en la industria cementera. Para los modelos de aprovechamiento que tuvieron un mejor comportamiento en el ámbito financiero se requeriría de una trituración previa al transporte hacia el sitio de aprovechamiento.

En el modelo D, en el que se proyectó una ganancia mayor que en los otros, también se promueve el cuidado del ambiente debido a que su aprovechamiento sería en una industria de fabricación de impermeabilizantes y/o de pisos, por lo que no habría contaminación hacia la atmosfera o atmósfera por parte de las sustancias potencialmente tóxicas que se presentan por la combustión inadecuada del residuo.

Comentarios y conclusiones

Comentarios

Para la realización del caso de estudio únicamente se seleccionó una zona de una alcaldía para facilitar la recopilación de información. No obstante, podría ampliarse la investigación para determinar si los

modelos de aprovechamiento planteados son más rentables y si se puede tener un mayor control de las llantas como residuo.

En el análisis de factibilidad económica se hicieron algunas consideraciones.

La primera, fue que los flujos de efectivo para todos los modelos permanecían constantes para tener una aproximación, pero es importante tomar en cuenta otras variables económicas como la inflación y la depreciación de la moneda, que pueden tener implicaciones directas en los costos de producción y los precios de los productos.

La segunda es que se estableció que todas las llantas que sean recolectadas, se someterían al tipo de aprovechamiento seleccionado, es decir, no se realizó la estimación precisa de la demanda de los productos.

Finalmente, no se definió la ruta exacta del servicio de recolección debido a la complejidad de localizar todas aquellas microempresas vulcanizadoras susceptibles de entrar en los modelos de aprovechamiento.

Adicionalmente, se podría cotizar algún servicio de recolección externo para evitar adquirir el camión y solicitar los permisos correspondientes para su operación, así como disminuir el personal requerido para cada modelo de aprovechamiento.

Para garantizar que el objetivo principal del caso de estudio que es minimizar el impacto ambiental de las llantas de desecho, es muy importante tener un control estricto del número de llantas que se recolectan, su procedencia y, su destino.

Conclusiones

Según el Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos (SEMARNAT, 2012a,b) se determinó la cantidad de RSU que actualmente se tienen en la Ciudad de México, así como de las llantas de desecho como residuo de manejo especial. Las NOM relacionadas con este tipo de residuo se encuentran en la literatura citada (Benítez-Mercado, 2018).

De acuerdo con los métodos de valorización energética de los residuos sólidos que se practican tanto a nivel mundial como nacional, se plantearon algunos modelos de aprovechamiento para disminuir la contaminación provocada por el mal manejo de las llantas fuera de uso.

Se diseñó un caso de estudio para evaluar la situación de una pequeña zona en la Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, en materia de llantas de desecho y a partir de la información obtenida de los cuestionarios que se aplicaron en los locales vulcanizadores y la interpretación de la misma, se propusieron soluciones prácticas para un aprovechamiento integral del residuo y sujeto a los métodos de valorización energética de residuos, al marco legal aplicable en México y a un estudio de prefactibilidad económica.

Reconocimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo parcial para la adquisición de insumos y materiales a través del Programa de Apoyo a la Investigación y el Posgrado de la Facultad de Química, PAIP, Clave 50009067 y a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Innovación y Mejoramiento

de la Enseñanza de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de los proyectos PAPIME claves EN103704, PE101709 y PE100514.

Bibliografía

- Benítez-Mercado**, M.F. 2018. Manejo y aprovechamiento de residuos de manejo especial: Estudio de caso de un residuo en la Delegación de Coyoacán. Tesis profesional de Ingeniera Química. Facultad de Química, UNAM. Defensa: Marzo 22. Ciudad de México, México.
- Cabrera**, L. 2002. Diccionario de aztequismos. Revisión y puesta en orden: J. Ignacio Dávila-Garibi. Términos nahuas: Luis Reyes-García. Términos latinos (clasificaciones botánicas y zoológicas): Esteban Inciarte. Ed. Colofón S.A. 5ª edición. ISBN 968-867-038-3. México D.F. México.
- CFE**. 2017. Comisión Federal de Electricidad. Dirección electrónica: http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=CMAS&Anio=2017 [25/10/17]
- DOF**. 2002. Normas Oficiales Mexicanas NOM-040-SEMARNAT-2002, NOM-098-SEMARNAT-2002. Dirección electrónica: <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1236/1/nom-040-semarnat-2002.pdf> [07/02/17]
- Economipedia**. 2017. Tasa Interna de Retorno (TIR). Dirección electrónica: <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html> [08/05/17]
- Garc**, N. 2006. Entrepreneur: ¿Llantas para reciclaje? Dirección electrónica: <https://www.entrepreneur.com/article/256121> [03/05/17]
- Grupo Pasa Bajío**. 2009. Impermeabilizante acrílico fabricado con llantas recicladas. Dirección electrónica: <http://grupopasabajio.com.mx/wp-content/uploads/2015/06/PASALLANTA.pdf> [25/10/17]
- LGPGIR**. 2003. Dirección electrónica: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf [07/02/17]
- Mercado Libre México**. 2017a. Trituradora de llantas. Dirección electrónica: <http://listado.mercadolibre.com.mx/industrias-manufacturera-maquinas/trituradora-de-llantas> [06/05/17]
- Mercado Libre México**. 2017b. Costal de rafia. Dirección electrónica: http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-568229580-costal-de-rafia-para-50-kg-_JM [06/05/17]
- Mercado Libre México**. 2017c. Trituradora especializada/ Línea de reciclaje para llantas. Dirección electrónica: http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-550263471-linea-de-reciclaje-de-llantas-en-mex-df-caucho-acero-nailon-_JM [06/05/17]
- Mercado Libre México**. 2017d. Precios de llanta molida. Dirección electrónica: <http://listado.mercadolibre.com.mx/venta-de-caucho-molido-de-llanta> [06/05/17]
- Milenio**. 2017. Dirección electrónica: http://www.milenio.com/negocios/precio_gasolina-lunes-23_octubre-magna-premium-diesel-milenio_0_1051695162.html [25/10/17]
- Pymes futuro**. 2013. Valor presente neto (VPN). Dirección electrónica: <http://www.pymesfuturo.com/vpneto.htm> [09/05/17]
- Pymes futuro**. 2010. Periodo de recuperación de la inversión (PRI). Dirección electrónica: <http://www.pymesfuturo.com/pri.htm> [09/05/17]
- Química y algo más**. 2015. Dirección electrónica: <http://www.quimicayalomas.com/quimica-organica/hidrocarburos/propiedades-del-caucho-vulcanizacion/> [08/02/17]
- Quiminet**. 2017a. Fabricante de impermeabilizantes Eco Llanta Imper. Dirección electrónica: <http://www.quiminet.com/shr/es/eco-llanta-imper-7268356281.htm>

- Quiminet.** 2017b. Fabricante de impermeabilizantes Compañía Minera el Realito. Dirección electrónica: <http://www.quiminet.com/shr/es/compania-minera-el-realito-1457023224/productos.htm?pp=40068065711>
- Revista PYME.** 2017. Capital Semilla. Dirección electrónica: <http://www.revistapyme.com/index.php/finanzas/60-mathematics/36-capital-semilla> [09/05/17]
- SACMEX.** 2016. Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Dirección electrónica: http://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/uploaded-files/6_tarifas172.pdf [25/10/17]
- SEMARNAT.** 2012a. Informe de la situación del medio ambiente en México, Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental, Capítulo 7: Residuos. Dirección electrónica: http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf [22/02/17]
- SEMARNAT.** 2012b. Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos, Dirección electrónica: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/Documentos/Ciga/libros2009/CD001408.pdf> [23/02/17]
- Tecnología de los plásticos.** 2011. Dirección electrónica: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/07/poliisopreno-caucho-natural-y-sintetico.html> [09/02/17]
- Viva anuncios.** 2.17. Bodega en venta. Dirección electrónica: <https://www.vivanuncios.com.mx/a-bodegas/pedregal-de-santa-ursula/excelente-bodega-en-renta-o-venta/1001254961770910723123609> [06/05/17]