



UDEM®

Centro de
Sostenibilidad | **UDEM**

DIAGNÓSTICO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECICLAJE EN LA UNIVERSIDAD DE MONTERREY (UDEM)

J. Antonio Azuela¹, Salvador Preciado²

¹ Centro de Sostenibilidad. Universidad de Monterrey. Av. Morones Prieto 4500 Pte. San Pedro Garza García. C.P. 66238 (Nuevo León, México). Correo electrónico: antonio.azuela@udem.edu.mx

² Dirección de Mantenimiento y Construcción. Universidad de Monterrey. Av. Morones Prieto 4500 Pte. San Pedro Garza García. C.P. 66238 (Nuevo León, México). Correo electrónico: salvador.preciado@udem.edu.mx

Abril, 2011

RESUMEN

De acuerdo con este estudio, el Sistema UDEM genera por período escolar 112 toneladas de residuos sólidos urbanos, de las cuales el 26.5% podría ser reciclado mediante la implementación de un sistema adecuado de gestión. La aplicación de las diversas estrategias de gestión expuestas en este documento podría traducirse en un ahorro mínimo del 27.3% con respecto al costo actual del servicio de recolección, transporte y disposición final de residuos.

El sistema de reciclaje propuesto minimizaría la generación de residuos, con el consecuente incremento en la disponibilidad de espacio en los rellenos sanitarios de la Zona Metropolitana de Monterrey. La incorporación del material reciclable a los ciclos de vida de los productos (envases de PET, latas de aluminio, papel de oficina, periódico y cartón), contribuiría a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo energético en los procesos de manufactura.

Además de los beneficios informativos, este estudio sirve como base para el desarrollo de un Plan Universitario de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Urbanos.

Palabras clave: *Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. Reciclaje. Universidad de Monterrey.*

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. MÉTODOS.....	5
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	6
3.1. RESIDUOS GENERADOS: CANTIDAD Y COMPOSICIÓN	6
3.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS POR ÁREA.....	7
3.3. ÍNDICE DE GENERACIÓN DE RESIDUOS	9
3.4. COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN	11
3.4.1. Costo de bolsas contenedoras.....	11
3.4.2. Costo del servicio de acarreo de bolsas a contenedores centrales.	11
3.4.3. Costo de recolección, transporte y disposición final de residuos.	12
3.4.4. Costo total de operación del sistema actual de recolección.	12
3.5. BENEFICIOS ECONÓMICOS POTENCIALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECICLAJE	13
3.5.1. Venta del material reciclable generado en la UDEM.	13
3.5.2. Ingresos por venta de material recopilado durante campañas de reciclaje.....	13
3.5.3. Cuota a concesiones por servicios de gestión de residuos.	14
3.5.4. Beneficios económicos potenciales de la implementación de un sistema de reciclaje.	15
3.6. BALANCE ECONÓMICO GLOBAL	15
3.7. BENEFICIOS AMBIENTALES DEL RECICLAJE	16
3.7.1. Reducción del espacio requerido en vertedero.	16
3.7.2. Reducción de los consumos energéticos y las emisiones de dióxido de carbono asociadas al ciclo de vida de los materiales.	17
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	17
5 .REFERENCIAS	18

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. GENERACIÓN DIARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	7
TABLA 2. GENERACIÓN DIARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS POR ÁREA .	8
TABLA 3. ÍNDICE DE GENERACIÓN DE RESIDUOS (kg/persona-mes)	10
TABLA 4. COSTO DE BOLSAS CONTENEDORAS DE RESIDUOS.....	11
TABLA 5. COSTO DEL SERVICIO DE ACARREO DE BOLSAS.....	11
TABLA 6. COSTO DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	12
TABLA 7. COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN...	12
TABLA 8. COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL POR TIPO DE RESIDUO	13
TABLA 9. VALOR ECONÓMICO DEL MATERIAL RECICLABLE.....	13
TABLA 10. APORTACIÓN ESTIMADA POR CAMPAÑA DE RECICLAJE.....	14
TABLA 11. CUOTA A CONCESIONES POR SERVICIO DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	14
TABLA 12. BENEFICIOS ECONÓMICOS POTENCIALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECICLAJE.....	15
TABLA 13. BALANCE ECONÓMICO.....	16
TABLA 14. ESPACIO REQUERIDO EN VERTEDERO PARA EL CONFINAMIENTO DE RESIDUOS	16
TABLA 15. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO	17

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DIARIA DE RESIDUOS.	6
--	---

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este estudio es evaluar el potencial de reciclaje de los residuos sólidos urbanos del Sistema Educativo de la Universidad de Monterrey (UDEM), constituido por el Campus Universitario; tres unidades de Educación Media Superior: San Pedro (USP), Valle Alto (UVA) y Fundadores (UFU); y el Centro de Salud y Desarrollo (CESADE).

Aunque el Sistema UDEM cuenta con un programa riguroso de limpieza, carece de un sistema integrado de gestión de residuos sólidos. Con excepción de una pequeña parte de los residuos de la Preparatoria Unidad Valle Alto (menos del 10% del material reciclable de la unidad), todos los residuos generados por el Sistema UDEM son confinados en rellenos sanitarios de la Zona Metropolitana de Monterrey. Esto significa que el reciclaje institucional es prácticamente nulo.

Durante años se han realizado en las preparatorias campañas de reciclaje en las que la UDEM opera como centro de acopio de residuos producidos en las viviendas de profesores y estudiantes (PET, aluminio y periódico); sin embargo, los residuos generados en la misma institución nunca se han separado de forma eficiente debido a la carencia de un buen soporte físico de recolección (contenedores ubicados y etiquetados estratégicamente) y a la falta de capacitación de alumnos y colaboradores sobre los aspectos técnicos y los beneficios económicos y ambientales de un programa de reciclaje.

Mediante el desarrollo de un sistema integrado de gestión, las actividades institucionales relacionadas con el reciclaje podrían alcanzar su máximo potencial educativo, económico y ambiental; pero para poder evaluar este potencial es necesario responder primero algunas preguntas básicas: ¿Cuántos residuos genera la UDEM? ¿En qué áreas se generan? ¿De qué están compuestos estos “desechos”?

2. MÉTODOS

- **Estimación de la generación diaria de residuos.** Del 7 al 21 de febrero de 2011, se llevó a cabo un conteo diario de residuos (número de bolsas), clasificándolos por zona de procedencia. Como equivalente de generación diaria, se tomó el número máximo de bolsas obtenidas durante un día cualquiera del período de estudio.
- **Determinación de masa, volumen y composición de residuos.** Los días 10, 11 y 21 de febrero (días de actividad regular, sin eventos institucionales significativos) se pesaron todas las bolsas con una «báscula electrónica de recibo» marca Torrey (capacidad: 100 kg) y se estimó su volumen con cinta métrica. Luego se abrieron las bolsas y se separaron manualmente los residuos para caracterizarlos.
- **Análisis costo-beneficio.** Los costos del servicio de recolección fueron estimados a partir de datos proporcionados por la División de Mantenimiento y Construcción de la UDEM (DIMCO). Los beneficios económicos fueron estimados a partir del valor comercial del material reciclable, proporcionado por TRISA y COPAMEX¹.

¹ TRISA. http://www.trisa.com.mx/web_trisa/trisa.html; COPAMEX. <http://www.copamex.com/reciclado.html>

- **Estimación de los beneficios ambientales.** En este estudio se estiman los beneficios ambientales en función de:
 1. La reducción del espacio requerido en vertedero para el confinamiento de los residuos (calculada a partir del diagnóstico de generación).
 2. La reducción de emisiones de gases de invernadero, derivada de la incorporación de reciclables a los ciclos de vida de los productos (calculada a partir de valores de referencia citados en los apartados correspondientes).



FIGURA 1. ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DIARIA DE RESIDUOS.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESIDUOS GENERADOS: CANTIDAD Y COMPOSICIÓN

En un día regular del período escolar, el Sistema UDEM genera 1.4 toneladas de residuos sólidos urbanos²; esto es, 28 ton/mes y 112 ton/período escolar³. Considerando una población actual de 11 673 personas⁴, la generación de residuos es de 2.4 kg/persona-mes y 9.6 kg/persona-período escolar.

El 26.5% de los residuos puede ser fácilmente separado y reciclado. Se trata de envases de tereftalato de polietileno (PET) empleados en diversas bebidas, latas de aluminio, papel de oficina, periódico, cartón y restos de alimentos procedentes de las cocinas de las cafeterías y residencias. La cantidad de vidrio es tan baja (no se encontraron más de 5 envases en el estudio) que puede considerarse prácticamente ausente en los residuos del Sistema UDEM.

El 73.5% de los residuos se ha considerado no reciclable⁵ y está constituido principalmente por papel higiénico y recipientes de poliestireno (conocidos comúnmente como “desechables de hielo seco”). En menor porcentaje se encuentran empaques de “snacks” (papas fritas, galletas, etc.); recipientes de PET usados para ensaladas y con grandes cantidades de aderezo; recipientes de cartón para “papas a la francesa” y café; y recipientes de polipropileno empleados en bebidas.

² No se incluyen residuos de áreas verdes: césped, ramas, hojas, etc.

³ En este estudio se consideran semanas de 5 días (laborales) y el período escolar tiene una duración de 4 meses.

⁴ Valor estimado a partir de datos proporcionados por las divisiones de la UDEM.

⁵ El término “no reciclable” es relativo. En este estudio se aplica a una gran variedad de plásticos de difícil separación o reciclaje debido a: (1) la composición química del producto, (2) aspectos técnicos (por ejemplo, presencia de restos de alimentos) y (3) dificultades de la población para identificar y clasificar el material.

TABLA 1. GENERACIÓN DIARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL SISTEMA UDEM

Masa (kg)	1 399	
Volumen (m³)	37	
Número de Bolsas	297	
Reciclable	26.5%	
Envases PET ^a	6.3%	
Latas de Aluminio	1.3%	
Papel de Oficina	3.8%	
Periódico	1.6%	
Cartón	6.4%	
Orgánico ^b	7.0%	
No Reciclable	73.5%	
Papel WC ^c	11.7%	
Plásticos "desechables" y empaques de "snacks" ^d	61.8%	

^a PET: Tereftalato de polietileno (envases de bebidas).

^b Orgánico: Se consideran únicamente los restos de alimentos procedentes de las cocinas de las cafeterías.

^c Papel WC o Papel higiénico: Incluye papel para secado y limpieza de manos.

^d Plásticos "desechables" y empaques de "snacks": Se refiere a una gran variedad de plásticos de difícil separación o reciclaje debido a: (1) la composición química del producto, (2) aspectos técnicos (por ejemplo, presencia de restos de alimentos) y (3) dificultades de la población para identificar y clasificar el material.

Es importante insistir que estos resultados representan el comportamiento de la población del Sistema UDEM durante un día regular. Se espera un incremento de la generación de papel de oficina y sus derivados hacia el final del período escolar (debido a exámenes y trabajos finales). Aunque no se ha estudiado la generación de residuos durante eventos institucionales relevantes, se estima que éstos incrementan la masa total de residuos, pero no se espera una modificación importante de su composición porcentual.

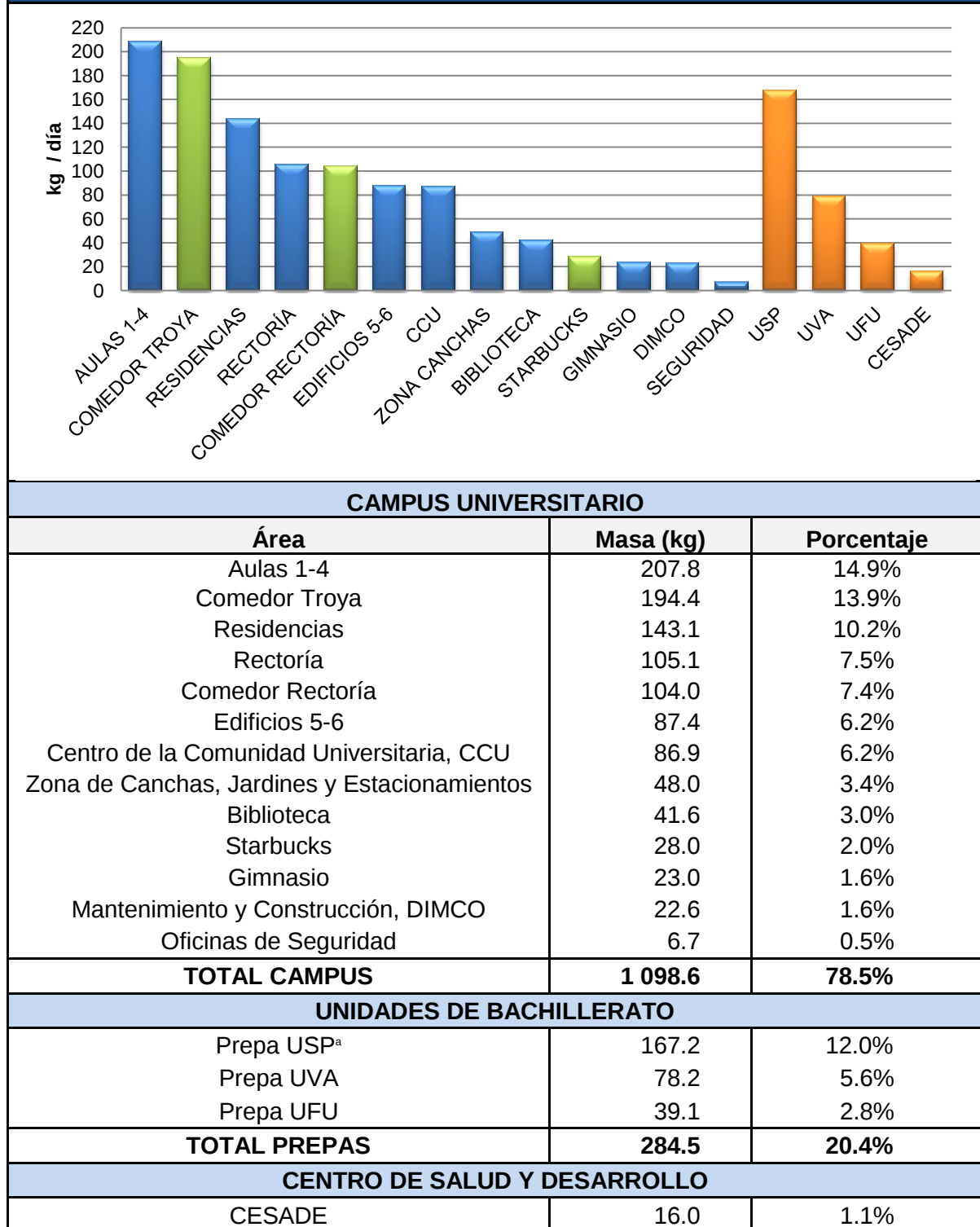
3.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS POR ÁREA

La tabla 2 muestra la procedencia de los residuos, expresados como porcentaje de la masa total generada. Las barras en azul y verde pertenecen a áreas dentro del Campus Universitario (las verdes representan concesiones de venta de alimentos). Las barras anaranjadas representan las Unidades de Educación Media Superior y el Centro de Salud y Desarrollo.

Los datos revelan que, en general, las áreas que más kilogramos de residuos generan son aquellas con mayor tránsito de estudiantes y colaboradores; por ejemplo, «Aulas 1-4», el «Comedor Troya» y «Rectoría». Pero no todas las áreas con alta generación de residuos están asociadas a un tránsito elevado. «Residencias», por ejemplo, presenta una alta generación como consecuencia de las actividades y del tiempo de estancia de las personas en esas instalaciones.

Son entonces tres los factores principales que determinan la generación de residuos en un área en particular: (1) el número de personas asociadas al área, (2) el tiempo de residencia y (3) las actividades realizadas.

TABLA 2. GENERACIÓN DIARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS POR ÁREA



^a Se incluye el Centro de Liderazgo y Desafío ¡Lánzate!

Es importante destacar que la generación de residuos no es homogénea. «Edificios 5-6» (Administrativos), «Rectoría» y «Biblioteca» son los mayores generadores de papel y sus derivados; «Aulas 1-4», las instalaciones deportivas («Gimnasio» y «Canchas») y las preparatorias, son las áreas que generan más envases de PET. Las latas de aluminio se encuentran principalmente en el «Centro de la Comunidad Universitaria, CCU» y las preparatorias. Los residuos orgánicos que podrían usarse para producir

composta se encuentran predominantemente en los «Comedores Troya y Rectoría», «Starbucks» y «Residencias».

3.3. ÍNDICE DE GENERACIÓN DE RESIDUOS

En la tabla 3 se muestra el «índice de generación de residuos», que es el cociente de la masa total de los residuos generados en un área específica y el número de personas asociadas a dicha área (población de referencia). Este indicador permite establecer un “ranking” de generación de residuos, útil para la planeación de estrategias de gestión, capacitaciones y campañas de reciclaje.

El índice de generación del Sistema UDEM es de 2.4 kg/persona-mes, pero varía según el área. Por ejemplo, «Residencias», con una población de referencia de 483 personas, presenta el mayor índice: 5.93 kg/persona-mes. Este valor es bajo, considerando que una residencia promedio en la Zona Metropolitana de Monterrey genera aproximadamente 38 kg/persona-mes⁶. Aún así, «Residencias» representa el punto de máxima generación de residuos sólidos urbanos dentro del Sistema UDEM.

En el otro extremo, se encuentran la «Biblioteca» y la «Zona de Canchas, Jardines y Estacionamientos», con índices de 0.21 y 0.13 kg/persona-mes, respectivamente. Estos valores indican que hay una gran población transitoria en esas áreas, pero las actividades desempeñadas ahí no implican una generación importante de residuos.

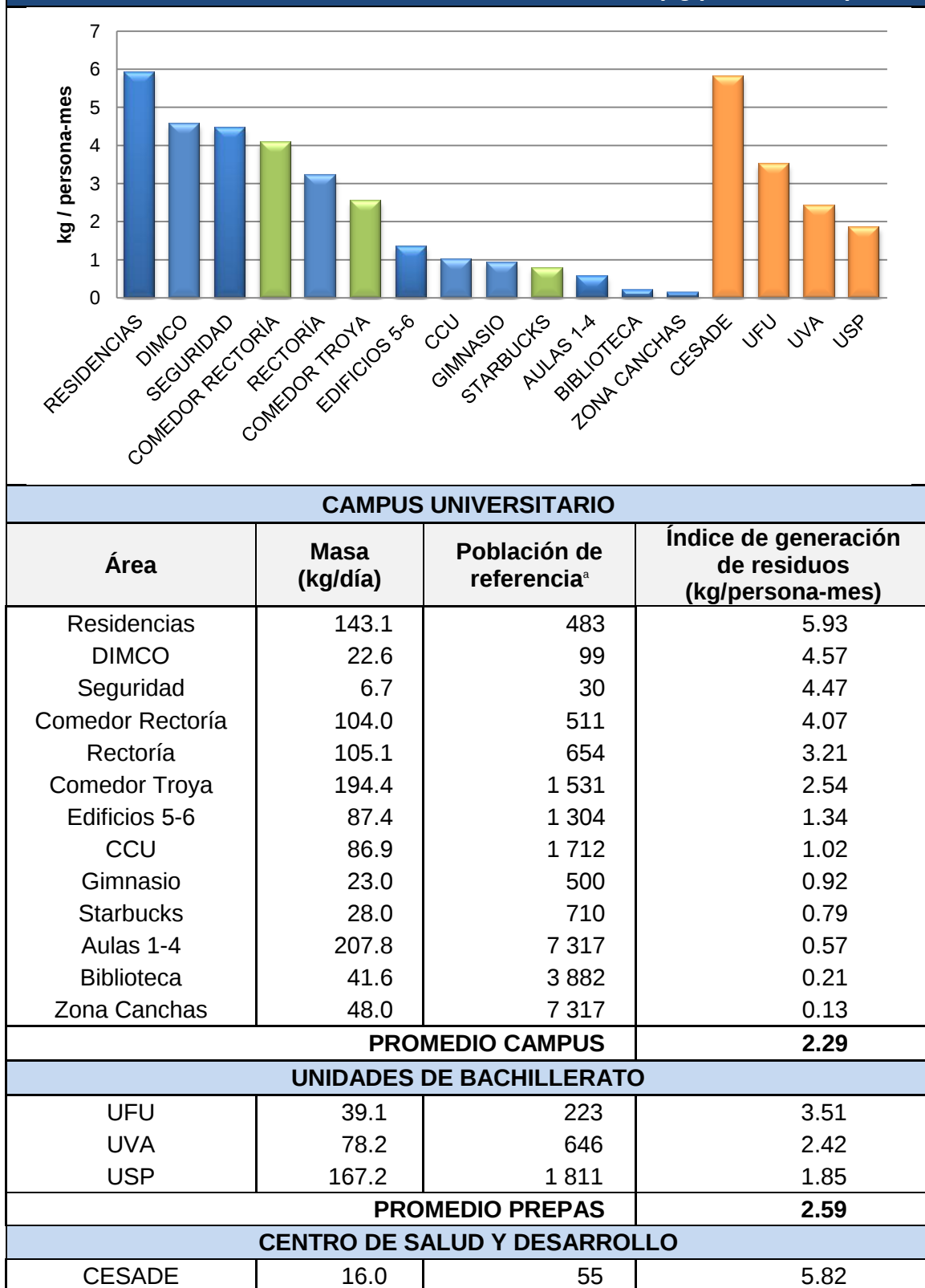
Después de «Residencias», el índice mayor de generación de residuos corresponde al «Centro de Salud y Desarrollo»: 5.82 kg/persona-mes. Los edificios administrativos, las preparatorias y los comedores del campus presentan valores entre 1.02 y 4.57 kg/persona-mes. Dentro de las preparatorias existen también variaciones, pero en general se puede deducir que cuando la población estudiantil es “grande” («USP»), la preparatoria tiende a un comportamiento de tipo transitorio (estudiantes y aulas), y cuando la población es “pequeña” («UFU»), la preparatoria tiende a un comportamiento de tipo estacional (colaboradores y oficinas administrativas).

A manera de síntesis, las áreas se pueden jerarquizar de mayor a menor índice de generación de residuos, de la siguiente manera:

1. Residencias.
2. CESADE.
3. Edificios administrativos, comedores universitarios y preparatorias.
4. Aulas universitarias, biblioteca, zonas deportivas, jardines y estacionamientos.

⁶ Estimado a partir de: (1) Información del «archivo de presentación del Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos del Gobierno de Nuevo León, SIMEPRODE» (<http://www.nl.gob.mx/?P=simeprodeso>).

(2) Censo de Población y Vivienda 2005 del INEGI.

TABLA 3. ÍNDICE DE GENERACIÓN DE RESIDUOS (kg/persona-mes)


^a La población de referencia es la suma de la población fija más la población transitoria. Esta última se estimó mediante diversos métodos: en «Biblioteca» se cuenta con un contador electrónico; en los «Comedores», con registros de compras. Para «Aulas 1-4» y «Zona de Canchas» se consideró la población total de alumnos de carrera y posgrado, etc.

3.4. COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN

En la estimación del costo de operación del sistema actual de recolección, se incluye lo siguiente:

1. Compra de bolsas contenedoras de residuos.
2. Pago a personal de intendencia por acarreo de bolsas a contenedores centrales.
3. Pago a terceros por:
 - Recolección de residuos en los contenedores centrales del Campus, Residencias, el CESADE y las Preparatorias.
 - Transporte y disposición final de residuos sólidos urbanos.

El análisis costo-beneficio se limita al período escolar (4 meses), pues se desconoce el patrón de generación de residuos en verano.

3.4.1. Costo de bolsas contenedoras. El costo de bolsas por período escolar es de \$ 74 760 M.N.

TABLA 4. COSTO DE BOLSAS CONTENEDORAS DE RESIDUOS (PERÍODO ESCOLAR)				
Tipo de bolsa	\$ M.N. / bolsa	Número de bolsas / día	Número de bolsas / período escolar	\$ M.N. / bolsas x período escolar
Grande ^a (90 x 130 cm)	2.50	297	23 760	59 400
Pequeña ^b (24 x 24 cm)	0.16	1 200	96 000	15 360
TOTAL				74 760

Los costos incluyen impuestos.

^a Empleadas para trasladar residuos de intemperie, aulas, cafeterías, etc.

^b Empleadas para contener residuos de sanitarios y oficinas.

3.4.2. Costo del servicio de acarreo de bolsas a contenedores centrales. El costo del servicio de acarreo se determinó a partir del salario promedio diario del personal de limpieza y del tiempo promedio de acarreo. Considerando una jornada laboral de 8 horas, el salario promedio diario es de \$ 226.7 M.N, incluyendo impuestos y servicios médicos; por lo tanto, cada hora laborada tiene un valor de \$ 28.3 M.N. El tiempo promedio de acarreo de una bolsa a los contenedores centrales es de 12 minutos (0.20 h).

TABLA 5. COSTO DEL SERVICIO DE ACARREO DE BOLSAS A CONTENEDORES CENTRALES (PERÍODO ESCOLAR)					
Número de bolsas / día	Tiempo de acarreo (min / bolsa)	Tiempo total de acarreo (horas/día)	Costo del acarreo		
			\$ M.N. / hora	\$ M.N. / día	\$ M.N. / período escolar
297	12.0	59.4	28.3	1 681	134 482

Los costos incluyen impuestos.

3.4.3. Costo de recolección, transporte y disposición final de residuos. En la tabla 6 se muestra el costo del servicio de recolección, transporte y disposición final de residuos.

TABLA 6. COSTO DEL SERVICIO DE RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS AL RELLENO SANITARIO (PERÍODO ESCOLAR)					
Unidad	Frecuencia de la recolección (días / semana)	Número de contenedores	\$ M.N. / recolección x contenedor	\$ M.N. / mes ^a	\$ M.N. / período escolar ^a
CAMPUS y RESIDENCIAS	6	5	200	27 840	111 360
USP	6	1	200	5 568	22 272
UVA	3	1	210	2 923	11 693
UFU	3	1	210	2 923	11 693
CESADE	3	1	190	2 645	10 579
TOTAL				41 899	167 597

Datos proporcionados por la División de Mantenimiento y Construcción (DIMCO).

^a Los costos incluyen un I.V.A. del 16%.

3.4.4. Costo total de operación del sistema actual de recolección. El costo total de operación del sistema actual de recolección es de \$ 360 207 M.N., por período escolar. Partiendo de las 112 toneladas generadas, se puede interpretar que la recolección, transporte y confinamiento de cada kilogramo generado implica un costo de \$ 3.365 M.N.

TABLA 7. COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN (PERÍODO ESCOLAR)		
Rubro	\$ M.N. / período escolar	Porcentaje del costo total
Bolsas	74 760	19.8%
Servicio de acarreo	134 482	35.7%
Recolección, transporte y disposición final	167 597	44.5%
TOTAL	376 839	100.0%

Sin embargo, para hacer un análisis más exacto del costo por masa generada de residuos, debe tomarse en cuenta que el consumo (y costo) de bolsas no es igual para todos los “desechos”. Además, el costo del servicio de transporte y disposición final debe adjudicarse por completo a los residuos no reciclables, puesto que el material reciclable, por el contrario, representa un beneficio económico potencial.

Concluyendo, el costo de recolección, transporte y disposición final por tipo de residuo es el siguiente:

TABLA 8. COSTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL DE RECOLECCIÓN POR TIPO DE RESIDUO (PERÍODO ESCOLAR)

Residuo	Masa (kg)	\$ M.N. / kg	\$ M.N. / período escolar
No Reciclable-No Sanitario	69 125.9	3.772	260 737
No Reciclable-Sanitario	13 132.9	4.928	64 723
Reciclable	29 666.3	1.732	51 379
TOTAL			376 839

El costo total de transporte y disposición final se transfiere a los residuos no reciclables.

3.5. BENEFICIOS ECONÓMICOS POTENCIALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECICLAJE

3.5.1. Venta del material reciclable generado en la UDEM. En la tabla 9 se muestra el ingreso estimado por venta de reciclables durante el período escolar: \$ 36 039 M.N.

TABLA 9. VALOR ECONÓMICO DEL MATERIAL RECICLABLE (PERÍODO ESCOLAR)

Material	Masa reciclable (kg / período)	Valor del Material (\$ M.N. / kg)		Ganancia (\$ M.N. / período escolar)	
		TRISA	COPAMEX	TRISA	COPAMEX
PET	7 090.5	2.0	1.7	14 181	12 054
Aluminio	1 415.0	8.0	8.5	11 320	12 027
Papel oficina	4 292.5	0.6	0.9	2 575	3 863
Periódico	1 781.5	0.6	0.9	1 069	1 603
Cartón	7 212.9	0.6	0.9	4 328	6 492
TOTAL				33 473	36 039

Los precios están sometidos a variaciones del mercado.
Precios a febrero de 2011.

Si el costo de operación (bolsas y acarreo) del material reciclable es de \$ 1.732 M.N./kg (tabla 8), los 21 792.4 kg de material recuperado por período escolar tienen un costo asociado de operación de \$ 37 742 M.N.; por lo tanto, apenas se logra un equilibrio entre la inversión y la recuperación. Por otra parte, es importante recalcar que no existe la opción de “no pagar” los costos de operación: se opta por el equilibrio o por las “pérdidas”; o se recupera la inversión o “se tira dinero a la basura” (literalmente).

3.5.2. Ingresos por venta de material recopilado durante campañas de reciclaje. El acopio de material reciclable procedente de las viviendas y negocios de alumnos y colaboradores es una oportunidad para incrementar el ingreso económico y cubrir parte de los costos operativos del sistema de gestión.

Por años, las preparatorias del Sistema UDEM han llevado a cabo campañas de reciclaje, tanto temporales intensivas (una semana de reciclaje llamada “Eco Reto”), como permanentes no intensivas (un día de acopio a la semana). Teniendo en cuenta

los datos históricos de estas campañas, se estima una aportación promedio de \$ 9.0 M.N., por alumno de bachillerato, para una campaña intensiva de reciclaje con duración de una semana ("semana de reciclaje UDEM"), y de frecuencia anual.

En la tabla 10 se muestran las aportaciones estimadas para las distintas unidades del Sistema UDEM. Para el Campus Universitario se ha considerado arbitrariamente una aportación de \$ 4.5 M.N./alumno, asumiendo una baja participación (como factor de seguridad).

TABLA 10. APORTACIÓN ESTIMADA POR CAMPAÑA DE RECICLAJE (1 SEMANA/AÑO)			
Unidad	Alumnos	\$ M. N. / alumno	\$ M.N./ campaña
Campus UDEM	7236	4.5	32 562
Prepa USP	1624	9.0	14 616
Prepa UVA	550	9.0	4 950
Prepa UFU	172	9.0	1 548
TOTAL			53 676

Los datos anteriores se traducen en una recuperación mínima de \$ 26 838 M.N. por período escolar.

3.5.3. Cuota a concesiones por servicios de gestión de residuos.

Actualmente, las concesiones del Campus Universitario («Comedores Troya y Rectoría» y «Starbucks») pagan a un tercero por la disposición de residuos; y las concesiones alimentarias de las preparatorias incorporan sus "desechos" al sistema gestionado por la UDEM, sin costo alguno. Esto es un problema serio, pues la UDEM no cuenta con mecanismos de control que limiten a las concesiones la generación de residuos no reciclables.

¿Por qué sería conveniente que la UDEM controlara la generación de residuos no reciclables? Principalmente por el costo de operación que estos residuos representan para la institución. Por ejemplo, en el Campus Universitario, el 71% de los plásticos no reciclables generados por las concesiones, son dispersados por todas las áreas universitarias. El costo asociado a la gestión de estos residuos (472.3 kg/día) es de \$ 1 781 M.N./día.

En este estudio se plantea el cobro a concesiones de una cuota por servicios de gestión (tabla 11).

TABLA 11. CUOTA A CONCESIONES POR SERVICIOS DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS		
Concesión	\$ M. N. / mes	\$ M. N. / período escolar
Comedores Troya y Rectoría	5 000 ^a	20 000
Starbucks	2 000 ^a	8 000
Comedor USP	1 782 ^b	7 128
Comedor UVA	1 191 ^b	4 764
TOTAL		39 892

^a Cuotas que pagan actualmente.

^b Costo del servicio de recolección, transporte y disposición final de los residuos generados *in situ* por la concesión.

Para las concesiones del Campus Universitario se propone una cuota inicial igual a la que pagan actualmente a un tercero (para facilitar la negociación). Las cuotas de los «Comedores USP y UVA» se estimaron multiplicando los kilogramos de residuos generados en la cafetería (*in situ*) por 2.039. Este valor representa el costo del servicio de recolección, transporte y disposición final para un kilogramo de “desecho” no reciclable-no sanitario⁷. Fue obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{A \cdot B}{C} = \frac{(\$167\,597 \text{ M.N./ período})(0.618/0.735)}{69\,125.9 \text{ kg/ período}} = \$2.039 \text{ M.N./kg}$$

donde:

- A = costo del servicio de recolección, transporte y disposición final (tabla 6).
- B = fracción de residuos no reciclables-no sanitarios, con respecto al total de no reciclables (tabla 1).
- C = masa de residuos no reciclables-no sanitarios generada por período escolar (tabla 8).

Además del ingreso económico y de la posibilidad de controlar la generación de no reciclables, esta medida facilitaría la implementación de un solo sistema integrado de gestión de residuos sólidos urbanos, con un solo esquema de separación y clasificación. Por otra parte, la UDEM podría modificar el sistema de gestión siempre que lo crea necesario, sin obstáculos políticos que lentifiquen los procesos de cambio.

3.5.4. Beneficios económicos potenciales de la implementación de un sistema de reciclaje. La suma de los beneficios económicos potenciales por (1) reciclaje diario, (2) una campaña semanal de reciclaje al año y (3) el cobro a concesiones por servicios de gestión, es igual a \$ 102 769 M.N., por período escolar.

TABLA 12. BENEFICIOS ECONÓMICOS POTENCIALES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECICLAJE (PERÍODO ESCOLAR)		
Rubro	\$ M.N. / período escolar	Porcentaje del beneficio total
Reciclaje diario	36 039	35.1%
Campaña de reciclaje	26 838	26.1%
Cuota a concesiones	39 892	38.8%
TOTAL	102 769	100.0%

3.6. BALANCE ECONÓMICO GLOBAL

Como se detalla en la tabla 13, la diferencia entre el costo del servicio de recolección y los beneficios económicos de un sistema de reciclaje es de \$ 274 070 M.N. Esto significa que la implementación de un sistema de reciclaje representa un ahorro del 27.3% con respecto al costo actual del sistema de recolección.

⁷ No se incluyen costos de bolsas ni de servicio de acarreo.

TABLA 13. BALANCE ECONÓMICO
(\$ M. N. / período escolar)

Costo del sistema actual de recolección	376 839
Beneficios de la implementación de un sistema de reciclaje	102 769
Diferencia	274 070

Se trata de un ahorro mínimo, puesto que los beneficios económicos se han estimado con mucha reserva (como factor de seguridad). El ahorro podría incrementarse mediante la implementación de las siguientes estrategias:

1. Reducción de las frecuencias de recolección (sección 3.4.3).
2. Reducción del número de bolsas (sección 3.4.1).
3. Implementación de un día semanal de reciclaje institucional.

3.7. BENEFICIOS AMBIENTALES DEL RECICLAJE

En este estudio, la evaluación de los beneficios ambientales se limita a:

- La estimación de la reducción del espacio requerido en vertedero para confinar los residuos no reciclables.
- La estimación de la reducción de las emisiones de gases de invernadero (equivalentes de CO₂) por la incorporación de material reciclable en los procesos de manufactura de los productos correspondientes.

3.7.1. Reducción del espacio requerido en vertedero. Mediante la implementación de un sistema de reciclaje, la masa confinada en rellenos sanitarios se reduciría de 112 a 82 toneladas por período escolar; esto es, un 26.8%. Dado que los residuos son comprimidos a una densidad mínima aproximada de 500 kg/m³ antes de ser confinados, estas 82 toneladas ocuparían 165 m³ (un aula de 8.2 x 8.2 x 2.4 m).

De esta forma, la UDEM liberaría 59 m³ de espacio en vertedero por período escolar; un volumen suficiente como para confinar los “desechos” de 47 viviendas por 4 meses (considerando una generación de 1.3 kg/persona-día y un promedio de 4 personas/vivienda).

TABLA 14. ESPACIO REQUERIDO EN VEREDERO PARA EL CONFINAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DEL SISTEMA UDEM (PERÍODO ESCOLAR)

Esquema	Masa confinada (ton)	Volumen de confinamiento (m ³) ^a	Equivalente en número de viviendas ^b
Sin Reciclaje	112	224	177
Con Reciclaje	82	165	130
Reducción	30	59	47

^a Se asume una densidad de residuos de 500 kg/m³

^b Se refiere al número de viviendas que podrían cubrir el mismo volumen de vertedero en 4 meses. Considerando una generación de residuos de 1.3 kg/persona-día y un promedio de 4 personas/vivienda.

3.7.2. Reducción de los consumos energéticos y de las emisiones de dióxido de carbono asociadas al ciclo de vida de los materiales. Mediante el compostaje de orgánicos y el reciclaje de los envases de PET, las latas de aluminio, el papel de oficina, el periódico y el cartón, se reduce la necesidad de generación de productos a partir de material virgen. Esto se traduce en una demanda energética menor en los procesos de manufactura, y como consecuencia, disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero (medidos como equivalentes de CO₂).

En consistencia con los resultados que se muestran en la tabla 15, bajo condiciones de 1 atmósfera de presión y una temperatura de 25°C ($\rho_{CO_2} = 1.8085 \text{ kg/m}^3$), las 87.1 toneladas de CO₂ ocuparían un volumen de 48 134 m³. De forma didáctica, se puede representar este volumen como una nube que cubre la cancha de fútbol del equipo de “Los Tigres”, con una altura de 7 m.

Asumiendo que estas emisiones son consecuencia del consumo de energía eléctrica. El reciclaje de estos materiales contribuiría al ahorro de 154 894 kWh, cantidad suficiente como para satisfacer la demanda de la «Preparatoria UFU» por 8 meses⁸.

TABLA 15. REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO POR RECICLAJE DE MATERIAL ^a (PERÍODO ESCOLAR)			
Material	Masa reciclable (kg /período escolar)	Reducción de emisiones ^{b,c} (ton de CO ₂ eq / ton material)	Reducción de emisiones (ton de CO ₂ eq / período escolar)
PET	7 090.5	1.6	11.2
Aluminio	1 415.0	13.6	19.2
Papel oficina	4 292.5	4.8	20.6
Periódico	1 781.5	1.9	3.4
Cartón	7 212.9	3.5	25.4
Orgánicos	7 874.0	0.9	7.2
TOTAL	29 666.4	26.3	87.1

^a Se refiere a reducción de emisiones por reciclaje, contra disposición en vertedero.

^b Toneladas de CO₂ equivalente.

^c Referencia: (Masters & Ela, 2008).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Excluyendo los residuos de áreas verdes, el Sistema UDEM genera por período escolar 112 toneladas de residuos sólidos urbanos (9.6 kg/persona-período), de las cuales el 26.5% podría ser reciclado mediante la implementación de un sistema adecuado de gestión. La aplicación de las diversas estrategias de gestión expuestas en este estudio podría traducirse en un ahorro mínimo de \$ 102 769 M.N., por período escolar; esto es, un ahorro del 27.3% con respecto al costo actual del servicio de recolección, transporte y disposición final de residuos.
2. El reciclaje sistemático liberaría, por período escolar, 59 m³ de espacio en rellenos sanitarios de la Zona Metropolitana de Monterrey: volumen suficiente

⁸ Se toma en cuenta un factor de emisiones de 0.5620 ton CO₂ eq / MWh, correspondiente al promedio de los factores estimados de 2000 a 2008 por el programa GEI México (<http://www.geimexico.org/factor.html>).

para confinar durante 4 meses los “desechos” de 47 viviendas promedio de la región. La incorporación del material reciclado a los ciclos de vida de los productos, contribuiría a la reducción de 87 toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero medidos como equivalentes de CO₂.

3. Con la finalidad de conocer el desempeño de la UDEM en la gestión de residuos sólidos urbanos, se recomienda llevar a cabo un estudio comparativo entre universidades nacionales e internacionales. La elaboración de un “ranking universitario de reciclaje y minimización de residuos” contribuiría al establecimiento de metas significativas que orienten a la UDEM hacia la eficiencia en la gestión de residuos a nivel mundial. La misma UDEM podría crear un “ranking nacional”, dirigiendo un “Proyecto Nacional Universitario de Reciclaje y Minimización de Residuos Sólidos Urbanos” que concentre y evalúe la información sobre generación de residuos por parte de distintas universidades del país. Este proyecto abriría las puertas al desarrollo de actividades interinstitucionales de reciclaje, con un elevado potencial de beneficios económicos, ambientales y sociales.
4. Á demás de los beneficios informativos, este estudio sirve de base para la elaboración de un **Plan UDEM de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Urbanos**, y constituye una guía para:
 - La implementación de un programa de monitoreo continuo, útil para la identificación de puntos críticos y el desarrollo de campañas educativas específicas.
 - Llevar a cabo un diagnóstico de generación de residuos en áreas verdes, con la respectiva estimación de los beneficios económicos y ambientales de la implementación de un sistema de compostaje.
 - Llevar a cabo un diagnóstico de generación de residuos peligrosos, con el fin de elaborar un plan de gestión integrada de este tipo de residuos.

5. REFERENCIAS

Davis, M. & Masten, S. (2005). *Ingeniería y ciencias ambientales*. México: Mc Graw Hill Interamericana.

Gobierno de Nuevo León. (2010). *Archivo de presentación del SIMEPRODE*. Recuperado el 15 de marzo de 2011 de http://www.nl.gob.mx/?P=simeprode_descargas

Masters, G. & Ela, W. (2008). *Introducción a la ingeniería medioambiental*. Madrid: Pearson Prentice Hall.