

Propuesta Básica para la Gestión de los Residuos Sólidos de la Zona Metropolitana de Cochabamba

Marcos Luján Pérez

Departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería

Universidad Católica Boliviana

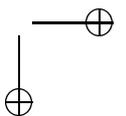
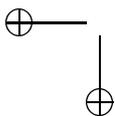
e-mail: lujan@ucbcba.edu.bo

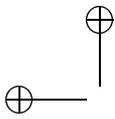
Resumen

La zona metropolitana del departamento de Cochabamba presenta una serie de problemas sociales y ambientales a causa de la mala gestión de los residuos sólidos (RS) que se generan en esta región. La mayoría de los municipios no cuenta con un relleno sanitario adecuado y el servicio de recogida tiene una cobertura parcial. Para contribuir a la solución de este problema, se plantea el concepto básico de un sistema de gestión de RS para toda la zona metropolitana del departamento de Cochabamba. Este sistema contempla la separación en el origen de los RS en dos fracciones: una fracción orgánica o húmeda y el resto de los materiales o fracción seca. El sistema de recogida transportaría estos RS separados hasta centros de transformación-reciclaje-transferencia, donde la parte orgánica sería procesada para transformarla en compost y la fracción seca sería sometida a un proceso de recuperación manual de materiales. Se recuperaría papel, cartón, plásticos, vidrio y metales. De esta manera se lograría desviar una fracción importante de los RS que tienen que ser vertidos en el relleno sanitario y se generaría una fuente de ingreso para el operador del sistema, situación que permitiría reducir los costos del servicio a la población. Los cálculos realizados muestran que se reduciría en un 46% los requerimientos volumen y de terreno para el relleno sanitario, para un período de acumulación comprendido entre 2004-2030 (26 años), pasando de 14,5 millones de m³, en un escenario sin desvío de RS, a 7,92 millones de m³, si se aplica el sistema propuesto.

1. Introducción

Los residuos sólidos (RS) generados en el valle central del departamento de Cochabamba, se han convertido en uno de los problemas ambientales más apremiantes en esta región. Según datos del censo realizado el 2001, la zona metropolitana de Cochabamba (ZMC) que incluye a los municipios de: Cercado, Quillacollo, y la primera sección del



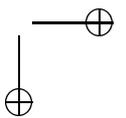
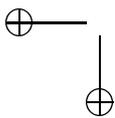


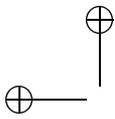
municipio de Chapare (Sacaba); cuenta con un total de 880.927 habitantes [8]. Considerando una tasa de crecimiento del 3,63 % (datos del INE [7]), se estima que el año 2003 esta población es de 947.000 habitantes, Actualmente, la población de la ZMC, genera un total de 224.300 t de RS al año (614 t día^{-1}), aproximadamente, de las cuales, el 62 % corresponde al municipio del Cercado. Esta cantidad de residuos sólidos generados tiende a aumentar año a año, debido al aumento de la población de la región y al aumento de la tasa de generación per cápita de residuos sólidos. Ante este panorama es necesario, cada vez más, realizar una gestión eficiente de los mismos, de manera a reducir y controlar los impactos nocivos sobre la salud de la población y el medio ambiente. Las grandes epidemias sufridas en Europa en la edad media, nos muestran claramente los estragos que pueden provocar los residuos sólidos mal manejados.

Pocos son los municipios ubicados en este valle, que cuentan con un sistema de gestión adecuado de los RS que generan. La gran mayoría de estos sistemas de gestión, han sido establecidos de manera precaria y atendiendo a urgencias coyunturales. Casi todos ellos tienen serias falencias que no permiten controlar eficazmente los riesgos ambientales que implican los residuos sólidos, tanto para la población como para los ecosistemas. Uno de los mayores problemas es la disposición final de los residuos, ya que no se tienen sitios adecuados para el vertido final de los mismos. Sólo los municipios de Cercado y de la primera sección de Quillacollo, cuentan con vertederos controlados. Los demás municipios descargan los residuos sólidos que generan en lechos de ríos y barrancos, donde no se controla adecuadamente la contaminación ambiental que generan y los riesgos para la salud de los habitantes.

A esta situación, se suma el hecho de que el relleno sanitario de Khara Khara, que es el utilizado por el municipio de Cercado, tiene que ser cerrado hasta diciembre del 2003, por determinación de la prefectura del departamento, en atención a demandas presentadas por vecinos de la zona. Por este motivo la Honorable Alcaldía Municipal de Cercado y la Prefectura de Cochabamba, están realizando gestiones para ubicar un nuevo sitio para la construcción de un nuevo relleno sanitario. Estos esfuerzos no han logrado todavía los resultados esperados; debido en cierta medida a la falta de un concepto claro sobre un sistema de gestión integral de los residuos sólidos generados en la región. Este concepto es esencial para lograr los acuerdos y consensos necesarios entre los actores principales, por una parte, y por otra para el análisis de los requerimientos, de tecnología, recursos humanos y financieros, infraestructura y terrenos.

Por lo expuesto, consideramos que es absolutamente prioritaria la definición de un concepto básico para la gestión integral de los RS generados en la zona metropolitana del departamento de Cochabamba, que responda a los objetivos definidos por las autoridades competentes, en acuerdo con los actores principales y la comunidad. Este concepto debe integrar de manera coherente, eficiente y eficaz, los procesos de generación y manipulación en el origen, el sistema de recogida, el sistema de transporte, los sistemas de recuperación y transformación de materiales (reciclaje) y finalmente la disposición o evacuación final de los RS. Una vez desarrollado el concepto básico, se podrá establecer, para cada uno de los elementos del sistema de gestión, los métodos y tecnologías que mejor se adapten a nuestra realidad y que permitan, al mismo tiempo, lograr los objetivos del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos (SGIRS) que





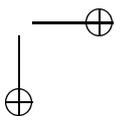
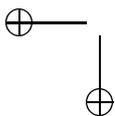
hayan sido definidos.

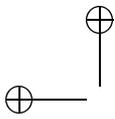
En este artículo, presentamos la síntesis de una propuesta para el SGIRS de la zona metropolitana del Departamento de Cochabamba. Esperamos que esta propuesta sirva como documento base para la discusión y el análisis de alternativas para la definición de un sistema de gestión de RS generados en el valle central de Cochabamba.

2. Consideraciones generales sobre la gestión de los RS municipales

El objetivo fundamental de un sistema de gestión integral de residuos sólidos es reducir, de manera eficaz y eficiente, los riesgos que implican los residuos sólidos generados por las actividades humanas, ya sean estas domiciliarias, comerciales, industriales, u otras. Con este propósito un sistema de gestión de RS, comprende en general los siguientes elementos funcionales [14]:

- **Generación de RS**, abarca las actividades que determinan que un material dado sea considerado inservible o sin ningún valor adicional para el usuario, quien decide desecharlo.
- **Manipulación, separación y almacenamiento en el origen**, abarca las actividades que se desarrollan en el lugar de generación de los RS, hasta que son colocados en el sistema de almacenamiento que permitirá su recogida. Estas actividades están en estrecha relación con los demás elementos del sistema de gestión de RS, sobre todo porque es el momento ideal para iniciar los procesos de reducción, separación, reciclaje y transformación de los RS.
- **Recogida**, comprende el proceso de recoger los residuos, desde el sitio de almacenamiento en el origen, hasta el transporte de los mismos a los sitios de transformación, recuperación, reciclaje, transferencia o evacuación final.
- **Transferencia y transporte**, abarca las actividades de transferencia de los RS desde los vehículos de recogida o los sitios de transformación, recuperación y reciclaje, hasta su traslado a los sitios de evacuación final.
- **Transformación, recuperación y reciclaje**, comprende todos los procesos que se implementan para lograr la transformación, recuperación y reciclaje de los materiales presentes en los RS. Estas actividades permiten revalorizar los RS y reducir la cantidad de materiales que tienen que ser dispuestos por el sistema de evacuación final, desviando una cierta cantidad de materiales presentes en los RS hacia otros usos o aplicaciones.
- **Evacuación final**, es el último elemento del sistema de gestión de RS y al mismo tiempo uno de los más importantes. El sistema de evacuación final debe acumular y almacenar, todos los RS que no pudieron ser revalorizados por el sistema de gestión. Por otra parte, debe controlar de manera eficaz, el riesgo que representan los RS para el ambiente y la población, durante el periodo de operación y luego de





la clausura, esto implica periodos de tiempo de varias decenas de años. El sistema más utilizado en países como el nuestro, es el vertedero controlado, sin embargo este sistema es cada vez más caro y difícil de aplicar, debido esencialmente al costo de los terrenos y a la oposición de las poblaciones vecinas a la construcción de un vertedero controlado en las cercanías de sus hogares.

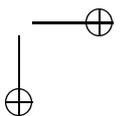
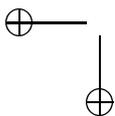
El diseño de un sistema de gestión de RS, implica la selección de los métodos, técnicas, tecnologías y programas que mejor se apliquen a cada uno de los elementos del sistema de gestión y que permitan alcanzar los objetivos trazados para el sistema de gestión. Es importante subrayar que los métodos, técnicas y tecnologías seleccionados para un elemento dado del sistema de gestión de RS, dependerán de un concepto o diseño global, definido para el sistema y de los objetivos trazados.

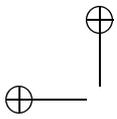
Para el diseño de un sistema de gestión de RS, es necesario desarrollar una serie de etapas previas que pueden resumirse de la siguiente manera [10]:

Definición de los objetivos del sistema. Los objetivos deben ser definidos por los representantes de la comunidad y/o las autoridades competentes. Debe plantearse claramente lo que se pretende lograr con el sistema de gestión en aspectos tales como: la cantidad y tipo de materiales a reutilizar, reciclar o transformar; la reducción en la generación de los residuos; la reducción de las molestias a la población; las características de la tecnología a utilizar; el sistema de evacuación final, etc. Es muy importante tener un elevado nivel de participación de la comunidad al momento de definir los objetivos del sistema de gestión de RS, ya que el apoyo de la comunidad será fundamental para una exitosa implantación del sistema.

Caracterización de los residuos generados. La información de la cantidad y composición en materiales de los residuos generados es fundamental al momento de escoger los métodos, técnicas y tecnologías más apropiadas para el sistema de gestión de RS. Permitirá también analizar la factibilidad de la aplicación de estrategias de reducción al origen, reciclaje, transformación o generación de energía en base a los RS. Las características de los RS pueden ser obtenidas mediante estudios específicos, que es lo más aconsejable. Si no se cuenta con esta información, es posible utilizar datos de otras zonas con características similares en cuanto a población, nivel de desarrollo, clima, etc.

Estimación de RS que pueden ser desviados de la evacuación final. A partir de la información de la composición de los RS, es posible estimar la cantidad de materiales que pueden ser revalorizados, aplicando las estrategias de desvío de los residuos sólidos, que comprenden la reducción al origen, el re-uso, el reciclaje y la transformación de materiales. De esta manera es posible, generar ingresos para el operador del sistema, lo que incidirá en menores costos del servicio y, sobre todo, reducir la cantidad de materiales que deben ser destinados al sistema de evacuación final. De esta manera es posible alargar la vida útil del sistema de evacuación final, algo muy importante en el largo plazo. En algunos casos este aspecto es determinante para la viabilidad económica de un sistema de gestión de RS.





Proyección de la generación futura de RS. Los sistemas de gestión tienen el objetivo de operar durante muchos años. Es corriente diseñar sistemas para que operen entre 20 y 30 años. Por esto, es fundamental contar con una proyección de la generación futura de RS en la zona de acción del sistema. La proyección debe incluir en lo posible las variaciones tanto en cantidad como en composición de los RS. La cantidad depende esencialmente del aumento de la población y el aumento de la cantidad de RS generados por habitante; ambas variables tienden a aumentar con el tiempo. La composición depende de los hábitos de consumo, las costumbres, el modo de vida, clima, etc., por eso, es más difícil elaborar proyecciones de los cambios en cuanto a la composición de los RS.

Estas etapas requieren de información que muchas veces no está disponible, por lo tanto, en muchas ocasiones será necesario realizar los estudios, sobre la base de información no muy precisa o sobre estimaciones obtenidas por comparación con otras zonas con características similares. La presente propuesta se elaboró, sobre la base de información obtenida con estudios realizados en la zona metropolitana de Cochabamba y de información correspondiente a ciudades con características similares a las de Cochabamba en otros países latinoamericanos.

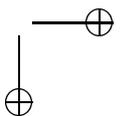
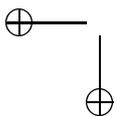
3. Propuesta para la gestión integral de los RS del eje conurbano de Cochabamba

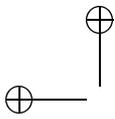
3.1. Objetivos del sistema de Gestión de RS para la zona metropolitana

La definición de los objetivos del sistema de gestión de RS es el primer paso y el más importante para la planeación de un sistema. En esta etapa se debe tratar de tener una participación amplia de todos los actores involucrados en la gestión de los RS, de manera que se logren los consensos necesarios y se lleguen a acuerdos sólidos. A través de la definición de los objetivos, se establece también el alcance del sistema, lo que permite establecer claramente la zona de acción, los tipos de servicios que brindará y los sectores que serán atendidos (residencial, comercial, industrial, etc.).

A continuación planteamos una propuesta de objetivos para el sistema de gestión de RS de la zona metropolitana de Cochabamba. Obviamente estos objetivos tendrían que ser consensuados con las autoridades competentes y representantes de las comunidades involucradas. Sin embargo es necesario partir de una propuesta de objetivos para poder definir el sistema de gestión de RS.

- Controlar eficazmente los riesgos ambientales que implican los RS para la población y el medio ambiente.
- Atender toda la zona metropolitana de Cochabamba, que comprende los municipios de Cercado, Quillacollo, con todas sus secciones, y la primera sección del municipio Chapare (Sacaba).





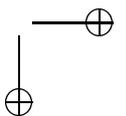
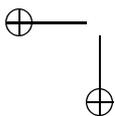
- Tratar todos los tipos de residuo generados en la zona metropolitana, incluyendo los domésticos, industriales y peligrosos.
- Utilizar tecnologías disponibles y que puedan ser mantenidas localmente.
- Implicar costos razonables para la población.
- Facilitar la revalorización de los RS, a través de la transformación (compostaje) y recuperación de materiales.
- Reducir las necesidades de espacio para la disposición final, de manera que se prolongue la vida útil del (los) vertedero(s) controlado(s).
- Ser sostenible en el largo plazo (más de 25 años).
- Prestar el servicio a un 95 % de la población del eje conurbano.

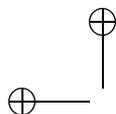
Como requerimiento adicional del sistema, asumiremos que se tendrá uno o dos rellenos sanitarios para atender las necesidades de disposición final de los RS generados en la ZMC. Esto debido a que los estudios preliminares sobre los sitios adecuados para la construcción de un vertedero controlado, muestran que existen muy pocos lugares adecuados, y esto tomando en cuenta sólo aspectos biofísicos y legales, las posibilidades reales pueden ser incluso menores, si se consideran otros aspectos, en particular la aceptación de las poblaciones vecinas al sitio. En este contexto la ubicación de un sitio de vertido para cada municipio de la ZMC sería muy difícil, sino imposible.

3.2. Características de los RS generados en la zona metropolitana de Cochabamba

Existen muy pocos estudios sobre las características de los RS sólidos de los municipios del eje conurbano de Cochabamba. Son pocos los municipios que han realizado estos estudios. La mayoría de ellos no cuenta con un sistema de gestión adecuado, por lo que no han visto todavía la necesidad de caracterizar sus RS. Cercado y Quillacollo, son los únicos municipios que han realizado algunos estudios sobre la composición de los RS [5]. Esta falta de información es una limitante seria para el diseño de un sistema de gestión de RS, por lo que es de suma importancia encarar una serie de estudios de caracterización, en todo el eje conurbano, antes de realizar el diseño final del sistema de gestión de RS. Sin embargo, para los fines y el alcance del presente trabajo, utilizaremos la información existente y un estudio realizado por el autor en el municipio de Colcapirhua.

El Cuadro 1 muestra la composición de los RS en el municipio de Cercado en 1995, según los datos proporcionados por EMSA (empresa municipal de saneamiento ambiental del municipio de cercado) [5]. El estudio realizado en el municipio de Colcapirhua, se ejecutó siguiendo la metodología propuesta en la referencia [6], que consiste en distribuir sacos de basura a un cierto número de hogares del municipio, para luego recogerlos utilizando el sistema de recolección establecido. En cada bolsa se registró correspondiente al hogar en cuestión, como el número de miembros de cada familia, de esta manera fue





posible calcular la tasa de generación per cápita y recoger otra información relevante. Una vez recogidos, los RS fueron seleccionados manualmente, según los tipos de material previamente definidos, para luego ser pesados. Los resultados obtenidos sobre la composición se encuentran en el Cuadro 2.

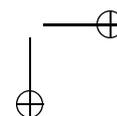
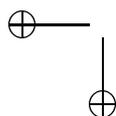
Material	Fracción
Materia orgánica	70.9 %
Materia inerte	20.8 %
Plásticos	2.6 %
Papel & Cartón	1.8 %
Telas, cuero y goma	1.4 %
Vidrio	0.8 %
Pañales	0.8 %
Metales	0.6 %
Huesos	0.3 %

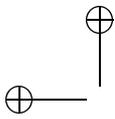
Cuadro 1: Composición de los RS del municipio de Cercado, Departamento de Cochabamba, en 1995 [5].

Material	Fracción
Residuos de comida	50.8 %
Papel y cartón	5.0 %
Plásticos mezclados	10.6 %
Residuos de jardín	9.2 %
Vidrios	2.3 %
Latas y Metales	3.8 %
Textiles y cuero	1.1 %
Tóxicos e irrecuperables	9.1 %
Otros	2.9 %
Cenizas y polvo	5.3 %

Cuadro 2: Composición de los RS del municipio del Colcapirhua, Departamento de Cochabamba. Datos de septiembre 2002.

Los datos sobre la composición de los RS urbanos en Cercado y Colcapirhua, muestran que la fracción de residuos orgánicos es la más importante, entre el 60 y 70 %. Las fracciones que siguen en importancia son los plásticos, papel y cartón y los metales. Esta composición es característica de las ciudades con una población de bajos ingresos [14], y es ideal para introducir un programa de separación de RS en orgánicos o fracción húmeda, y el resto o fracción seca. La fracción orgánica puede ser utilizada para la producción de compost, y la fracción seca para la recuperación y reciclaje de materiales. De la fracción seca, sería posible recuperar papel, plásticos y eventualmente metales como el aluminio y metales férreos, ya que existen mercados en la región para estos materiales.



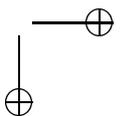
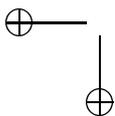


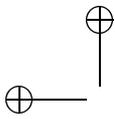
La composición de los RS generados depende de varios factores, entre ellos: los hábitos de consumos, las costumbres sociales, actividades económicas de la región, el clima, la estación del año, etc. Esto implica que cada región tendrá una composición característica propia. La composición, además de cambiar de una zona a otra, cambia también cambian con el tiempo. El Cuadro 5 muestra los datos sobre la composición de lo RS de la provincia de Santiago de Chile entre 1973 y 2001; la fracción de residuos orgánicos tiende a disminuir con el tiempo y la fracción correspondiente a los plásticos, papel, cartón y metales, aumenta globalmente. Esta evolución de la composición de los RS, es típica en los países en desarrollo y es la que también han seguido los países más desarrollados [10, 9]. Por lo tanto, se puede esperar que en la región metropolitana de Cochabamba, la fracción orgánica de los RS disminuya con el tiempo y la fracción seca aumente, en una proporción similar a la de Santiago de Chile. Es necesario hacer notar, sin embargo, que esto no significa que la cantidad de RS orgánicos generados disminuya; la fracción disminuye debido esencialmente al aumento en la generación de residuos de papel, cartón, plásticos y metales.

En cuanto a las tasas de generación per cápita en la ZMC, la información proporcionada por EMSA indica que es de unos $0,70 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$, para el municipio de cercado [5]. El estudio realizado en el municipio de Colcapirhua, estableció que la tasa de generación es de $0,46 \text{ OJOSS } 0,05 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$, en ese municipio, vecino al municipio del cercado. Las diferencias se deben esencialmente a que el nivel económico de la población del municipio de Cercado es mayor que la del municipio de Colcapirhua. Considerando que la población del municipio de Cercado representa un 62 de la población de toda la ZMC y asumiendo que los demás municipios tienen una tasa de generación igual a la del municipio del Colcapirhua, podemos estimar que la tasa de generación promedio en toda la ZMC es de $0,622 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Esta tasa de generación es similar a las obtenidas en ciudades con un nivel económico y de desarrollo equivalente al de Cochabamba, como es el caso de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas-México ($0,482 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$) [6] y San Rafael, Mendoza-Argentina ($0,53 \text{ a } 0,62 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$) [9]. Como dato adicional del estudio realizado en Colcapirhua, es relevante indicar que la densidad de los RS tal cual son acumulados en los contenedores es de 272 Kg m^{-3} .

3.3. Proyecciones de la generación de RS municipales en la zona metropolitana de Cochabamba

Como se mencionó anteriormente, otro aspecto fundamental para el diseño de un sistema de gestión de residuos sólidos es el de contar con una buena proyección de la cantidad de RS sólidos que serán generados en la zona de alcance del sistema. Esta proyección tiene que tomar en cuenta los cambios en la composición de los RS generados, además de los cambios en la cantidad. Para realizarla, es necesario recabar información fiable sobre: proyecciones de crecimiento de la población, posibles cambios en los hábitos de consumos, cambios en las principales actividades económicas de la región, etc. En general es muy difícil contar con toda la información necesaria; en la mayoría de los casos es necesario hacer algunas estimaciones, analizando información existente sobre otras zonas con características similares a la zona de estudio.





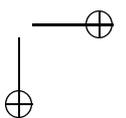
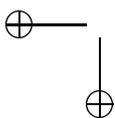
Lamentablemente, no existen estudios sobre el crecimiento de la población de la ZMC específicamente, por lo que hemos visto la necesidad de realizar una proyección con la información disponible. De acuerdo a los datos publicados por el INE, la población de la zona metropolitana de Cochabamba era de 629.114 habitantes en 1992 y de 880.927 habitantes en el 2001 [8]. Utilizando estos datos podemos calcular que la tasa exponencial promedio de crecimiento anual de la población entre 1992 y 2001 en toda la zona metropolitana de Cochabamba, fue de 3.63 %. Según los datos de proyección del INE, la tasa exponencial de crecimiento anual de la población de Bolivia tiene una tendencia a disminuir, a medida que la población se urbaniza cada vez más y el nivel de vida aumenta. Esta tendencia a una mayor urbanización también se da en la zona metropolitana de Cochabamba, donde el 2001 se tenía un 87.8 % de población urbana. Por lo tanto podemos también esperar que la tasa anual de crecimiento de la población en la ZMC, siga la misma tendencia decreciente con el tiempo.

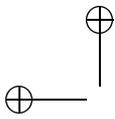
Para hacer una estimación del crecimiento de la población en la ZMC, hemos considerado que la disminución de la tasa de crecimiento será proporcional a la disminución de la tasa de crecimiento de toda la población boliviana. Según el INE, la tasa de crecimiento de la población de Bolivia, pasará de 2,38 % en el período 1995-2000 a 1.24 % en el período 2025-2030. Aplicando la misma disminución proporcional a la tasa de crecimiento de la población a la ZMC, tendríamos que la tasa anual promedio disminuiría de 3.63 %, en el período 1995-2000, a 1,89 % en el período 2025-2030. El Cuadro 4 muestra la proyección del crecimiento de la población de la ZMC hasta el año 2030, considerando ésta variación de la tasa de crecimiento anual.

Para hacer una proyección de la tasa de generación, se puede tomar en cuenta el aumento de la tasa de generación de los años precedentes o tomar las proyecciones de otras regiones de características similares. También se puede estimar el crecimiento de las tasas de generación de RS, tomando en cuenta el crecimiento económico, ya que tienen tendencia a aumentar con el tiempo, en la misma proporción que el crecimiento económico, representado por el producto interno bruto (PIB) [17].

En el caso de Cochabamba no existen datos sobre el aumento de las tasas de generación de años pasados. La única información con que se cuenta es del aumento de la cantidad de RS que llegan al relleno sanitario de Khara Khara [3] (ver Cuadro 3). Los datos muestran un aumento rápido de la cantidad de RS colectados, en proporciones que no corresponden a los valores usuales del aumento de las tasas de generación de regiones similares que están alrededor del 1 al 3 % anual. Es obvio que este aumento no refleja directamente el aumento de la tasa de generación, sino más bien un aumento en la captación de los RS generados en la ZMC, es decir, el servicio atiende a una población cada vez mayor y de mejor manera.

Para estimar el aumento porcentual de la tasa de generación de RS en la ZMC, es conveniente tomar datos de otras zonas. Algunos estudios muestran que el crecimiento porcentual anual de la tasa de generación de RS están entre el 1-3 %; a medida que una sociedad alcanza mayores niveles de riqueza, el crecimiento de la tasa de generación tiende a disminuir, en algunos casos es incluso negativa, sobre todo en aquellos países donde los esfuerzos de reducción en la generación de RS han tenido mayor éxito





Año	RS colectados [ton/día]	Aumento porcentual anual
1993	160	
1994	280	75.0 %
1995	320	14.3 %
1996	360	12.5 %

Cuadro 3: Variación de la cantidad de RS sólidos colectados en Cercado [3].

[1, 4]. En Santiago de Chile, que ha tenido un fuerte desarrollo urbano en los últimos 30 años, la tasa de generación de RS creció entre un 2-3 % anual entre 1970 y el 2000 [11]. Considerando la realidad actual de la ZMC y la de Santiago en los años 70, podemos constatar que las características de estas comunidades, en esos dos momentos, son similares; por lo tanto, podemos asumir que el aumento porcentual anual de la tasa de generación de RS en la ZMC, entre el 2000 y el 2030, será similar a la de Santiago de Chile entre el 1970 y el 2001. Tomando estos valores, 3 % en el 2001 y 2 % en el 2030, se hizo la proyección de las tasas de generación de los RS en la ZMC; los resultados se muestran en el Cuadro 4.

La generación anual de RS en la ZMC, se calculó con estas proyecciones de crecimiento de la población y de las tasas de generación per cápita. Este cálculo se realizó utilizando la siguiente fórmula para un año i cualquiera:

$$M_i = P_i \cdot G_i \cdot \frac{365}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \left[\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right] \quad (1)$$

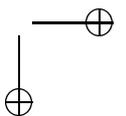
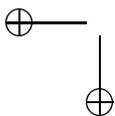
donde, M_i es la masa de RS generada en el año i , P_i la población del año i , y G_i es la tasa de generación del mismo año.

Los resultados para el periodo 2001-2030 se muestran en el Cuadro 4. Es importante subrayar que estas cantidades representan el total de RS generados en el origen, es decir en el momento en que se establece que un determinado material no tiene más valor para el usuario. La Figura 1 muestra la evolución de la población y la cantidad de RS generados por año en la ZMC.

Las proyecciones muestran que el 2030, la población de la ZMC será de 1.869.000 habitantes y la tasa de generación de RS alcanzará los $1,1 \text{ kg día}^{-1} \text{ hab}^{-1}$. Esto significa una generación anual de 750.460 t de RS ($2056 \text{ ton día}^{-1}$), 3,35 veces más que la cantidad actual.

3.4. Propuesta para la operación del sistema de gestión de RS

Con la información y los cálculos realizados previamente, procederemos a elaborar una propuesta básica de un sistema de gestión de residuos sólidos para la zona metropolitana de Cochabamba. Esta propuesta, retoma los objetivos planteados previamente y ha sido diseñado de manera que permita el logro de los mismos. También se ha tomado en cuenta las estrategias propuestas por la Environmental Protection Agency (EPA),



Año	Tasa de crecimiento	Población	Generación per cápita [Kg. día ⁻¹ hab ⁻¹]	Generación de RS [ton año ⁻¹]
2001	3.42	880927	0.622	199997
2002	3.42	911544	0.641	213103
2003	3.42	943224	0.659	226912
2004	3.42	976006	0.678	241450
2005	3.42	1009927	0.696	256742
2006	3.07	1041368	0.715	271859
2007	3.07	1073787	0.734	287668
2008	3.07	1107216	0.753	304186
2009	3.07	1141685	0.771	321432
2010	3.07	1177227	0.790	339421
2011	2.76	1210179	0.808	357079
2012	2.76	1244053	0.827	375397
2013	2.76	1278875	0.845	394383
2014	2.76	1314672	0.863	414044
2015	2.76	1351471	0.881	434386
2016	2.44	1384857	0.898	453957
2017	2.44	1419068	0.915	474083
2018	2.44	1454124	0.932	494761
2019	2.44	1490046	0.949	515984
2020	2.44	1526855	0.965	537747
2021	2.15	1560047	0.981	558422
2022	2.15	1593959	0.996	579492
2023	2.15	1628610	1.011	600943
2024	2.15	1664013	1.025	622759
2025	2.15	1700186	1.039	644922
2026	1.89	1732647	1.053	665686
2027	1.89	1765727	1.065	686645
2028	1.89	1799440	1.078	707777
2029	1.89	1833796	1.089	729056
2030	1.89	1868808	1.100	750457

Cuadro 4: Proyección de la generación de residuos sólidos de la zona metropolitana de Cochabamba.

para el diseño de sistemas de gestión de residuos sólidos y que pueden aplicarse en nuestro medio, en particular: la reducción a origen, el reciclaje, la transformación [16]. No se pretende dar el detalle de la tecnología a utilizar en cada proceso, sino diseño básico del sistema. Obviamente será necesario definir posteriormente con más detalle, los requerimientos de tecnología, recursos humanos, insumos, etc. En la Figura 2 se muestra un esquema básico del sistema de gestión propuesto, más adelante se explica en más detalle cada uno de los elementos del mismo.

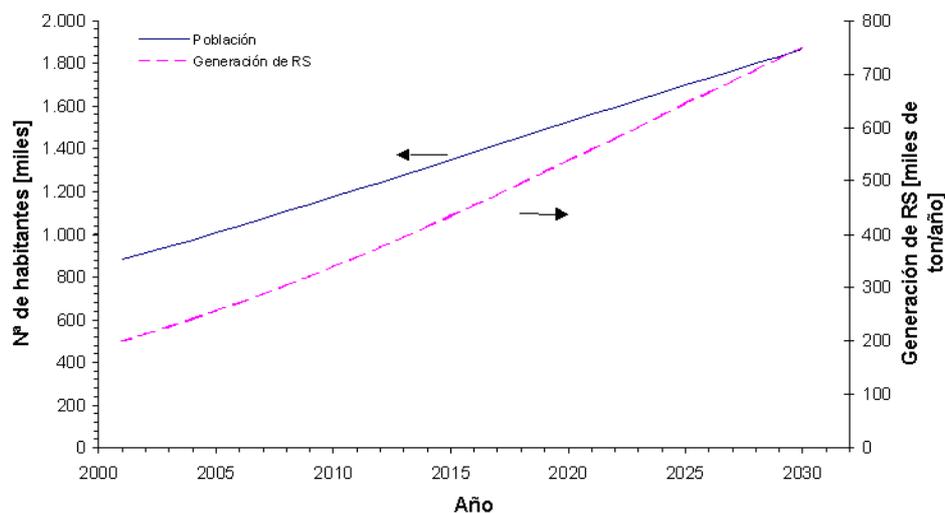


Figura 1: Proyecciones de la población y la generación anual de RS en la zona metropolitana de Cochabamba entre el 2000 y el 2030.

3.4.1. Manipulación al origen

Los datos que se tienen los Cuadros 1 y 2, sobre la composición de los residuos sólidos generados en la región del valle central, muestran que entre alrededor del 60%, son materiales orgánicos compostables. También se tiene entre un 17 a 20 de materiales reciclables como: plásticos, papel, cartón y vidrio, que tienen demanda en el mercado local; prueba de ello es que actualmente existe un importante grupo de personas que se dedica a la recuperación de estos materiales, directamente de los contenedores que se encuentran en las calles o en el mismo sitio de Khara Khara.

Para facilitar el proceso de compostaje y mantener la calidad de los materiales reciclables, lo más adecuado sería realizar una separación en el origen de los RS. Los residuos sólidos deberían ser separados en dos tipos: los compostables (materia orgánica) y el resto. De esta manera, los residuos orgánicos pueden ser transformados en compost de excelente calidad y el resto de los materiales ser procesados en un centro de recuperación de materiales, donde se podrían recuperar una buena parte de los materiales reciclables.

La principal dificultad en la selección de RS en el origen, es el lograr que la población colabore eficazmente en la selección. Por este motivo se propone separar los RS en sólo dos fracciones; separar los RS en más tipos de material sería difícil ya que implica una carga de trabajo elevada y una inversión mayor para la población. La experiencia de otros sistemas muestra que la colaboración de la población es difícil de lograr cuando se pretende separar los residuos en demasiadas fracciones. La separación en dos tipos de material, implicaría para la población el mantener dos sistemas de manipulación y acumulación de RS, lo que, en principio, no debería significar un esfuerzo muy grande, aunque evidentemente implica un cambio de actitud importante.

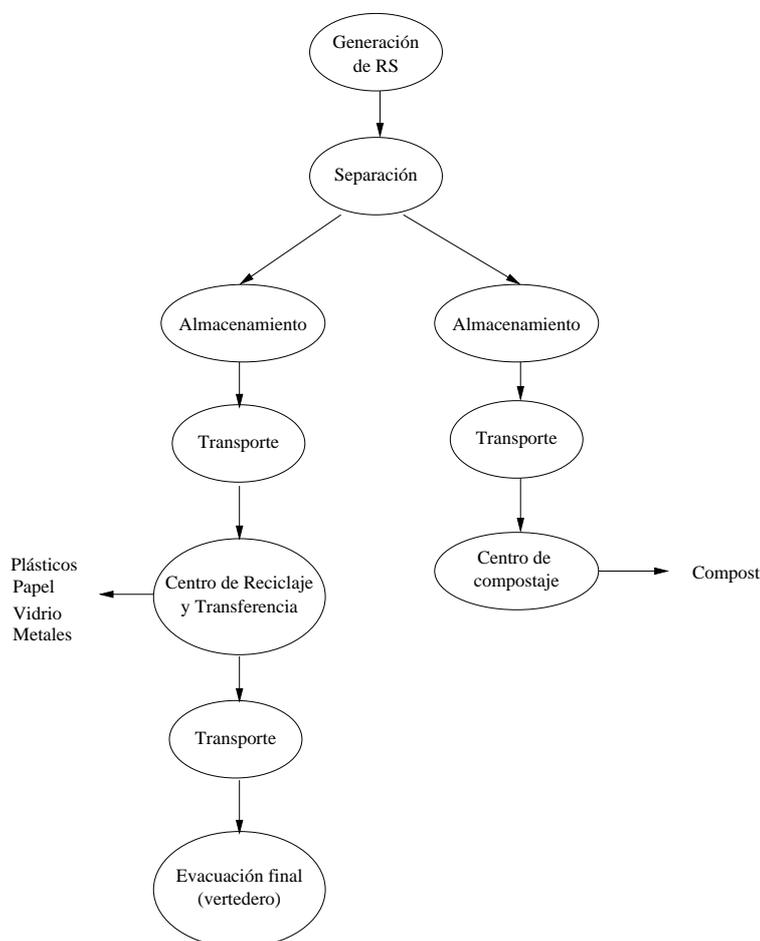
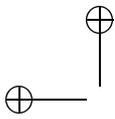


Figura 2: Esquema del sistema de gestión propuesto para la Zona Metropolitana de Cochabamba.

Además de la separación de RS en el origen, sería posible desarrollar programas de recuperación selectiva de materiales que tendrían que ser analizados de manera específica en cuanto a la viabilidad técnica y económica. Sobre todo con aquellos materiales que pueden ser reutilizados directamente, como envases de vidrio, cartones, bolsas, etc. o materiales que pueden ser tóxicos y no deben ser mezclados con el resto de los RS. Sin embargo, el éxito de estos programas depende mucho del grado de participación de la población y en nuestro medio sería necesario desarrollar campañas previas de educación y concientización sobre el tema de la gestión de RS.

3.4.2. Sistema de recogida

El realizar la separación en el origen en dos tipos de material, requerirá de una adaptación de los actuales sistemas de recogida. Sin embargo, esta adaptación no debería ser muy difícil ya que el equipamiento existente puede ser fácilmente acondicionado



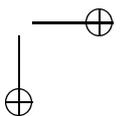
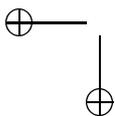
para un sistema de recogida que permita recoger por separado los residuos orgánicos y el resto de los materiales. Eventualmente los costos del sistema pueden aumentar, pero este aumento no debería ser muy importante en relación al costo de recogida sin contemplar una separación. Análisis más detallados de la tecnología, equipos disponibles y costos de los sistemas permitirán elegir una opción viable.

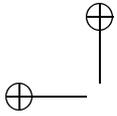
3.4.3. Sistema de transporte

Considerando que se tendrá uno o dos sitios de vertido para todo el valle central, es necesario reducir los costos de transporte hasta el sitio de vertido. Actualmente los municipios que cuentan con un vertedero controlado, utilizan los mismos vehículos de recogida para transportar los RS desde el punto de recogida, hasta el sitio de vertido. Este sistema sería demasiado costoso en caso de contar con uno o dos sitios de vertido, por las distancias que habría que recorrer.

Para reducir los costos de transporte, es conveniente recurrir a estaciones de transferencia [14]. Estos sitios pueden ser utilizados además para realizar los procesos de transformación (compostaje) y recuperación y reciclaje de materiales, propuestos. Los sitios de transformación-reciclaje-transferencia, tendrían que estar ubicados en sitios estratégicos de la ZMC, de manera a reducir los costos de transporte y los impactos nocivos para la salud y el medio ambiente. Los vehículos utilizados para la recogida de los RS, transportarían los mismos hasta estos sitios, las distancias recorridas no deberían superar los 10 ó 12 km. En estos sitios se haría la transformación de los RS en compost y la recuperación de los materiales. Los materiales que no puedan ser revalorizados, serían comprimidos y transportados en camiones de alto tonelaje hasta el vertedero controlado. De esta manera se reducirían los costos de transporte, haciendo factible la construcción de uno o dos rellenos sanitarios para toda la ZMC. Obviamente una decisión final tendría que ser tomada en base un estudio detallado de los costos del sistema.

Algunos municipios insisten en tener su propio relleno sanitario y se oponen a la construcción de un solo relleno para toda la zona metropolitana, argumentando que los costos de transporte serían demasiado elevados, incluso con un sistema de transferencia. Este análisis puede resultar ser correcto si consideramos la coyuntura actual de costos, pero no hay que olvidar que poco a poco se acabarán todos los sitios disponibles en el valle central para la ubicación de rellenos sanitarios. Dentro de unos 30 o 40 años, será necesario transportar los residuos a zonas mucho más alejadas, como sucede en otras ciudades del mundo, donde se transportan los residuos distancias de 100 a 150 km, para ser confinadas en un relleno sanitario. Para cuando esto sea necesario, será indispensable contar con centros de transferencia estratégicamente ubicados dentro del valle central que permitan, por una parte, reducir la cantidad de RS a transportar y, por otra, transferir los RS destinados a la evacuación final, a un sistema de transporte de menor costo. Es mejor pensar en ubicar esos centros ahora que todavía hay terrenos disponibles.





3.4.4. Transformación y recuperación de materiales

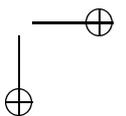
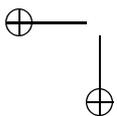
La experiencia de muchas ciudades en la gestión de los RS ha demostrado la importancia de contar con un sistema de transformación y recuperación de materiales de los RS. Esto permite por una parte, generar ingresos que reducen los costos del sistema de gestión de RS y, por otra parte, permite prolongar la vida útil de los sitios de vertido o disposición final. Considerando que se contará con una separación en el origen de los RS en orgánicos y el resto, es técnicamente factible transformar los RS orgánicos en compost y recuperar materiales reciclables como papel, cartón, plásticos, vidrios y metales en una estación de recuperación de materiales. Una buena parte de la materia orgánica presente en los RS podría ser transformada en compost, utilizando tecnologías que son relativamente simples y que han sido ampliamente probadas [10, 15, 2]. Los materiales reciclables, pueden ser recuperados eficientemente con sistemas manuales, lo que supone una inversión pequeña en máquinas e infraestructura para el centro de recuperación de materiales.

Para determinar el impacto que tendría el reciclaje y la transformación sobre la reducción de RS que tienen que ser dispuestos en el relleno sanitario, es necesario evaluar la cantidad de RS que pueden ser desviados por estos procesos, durante el periodo de operación del sistema. Esta evaluación se la puede realizar, en base a los datos de la composición de los RS generados y la evolución probable de la misma durante el tiempo de operación del sistema. Los datos actuales se presentan en los Cuadros 1 y 2. Considerando que los datos más recientes son los obtenidos para el municipio de Colcapirhua, podemos suponer que esta composición es representativa para toda la zona metropolitana. La evolución de la composición en el tiempo es mucho más difícil de determinar, la manera más simple y lo que recomienda la literatura [14, 2], es tomar como referente la evolución de la composición de una ciudad similar que se encuentre más evolucionada en cuanto a la composición de sus residuos sólidos. En nuestro caso tomaremos como referencia la ciudad de Santiago de Chile, ya que es una ciudad que cuenta con muchas características socioeconómicas, culturales, climáticas y geográficas, similares a las de Cochabamba y, además, cuenta con datos sobre la evolución de la composición de sus RS desde los años 70 hasta el presente [11]. En el Cuadro 5 se presentan los datos de la composición de los RS de Santiago de Chile, entre 1973 y 2001.

Para estimar la cantidad de residuos que pueden ser desviados de la disposición final en un relleno sanitario, se tiene que tomar en cuenta tres factores preponderantes: la fracción de los materiales que pueden ser reciclados y/o transformados, la eficiencia del sistema de transformación o recuperación de los mismos y la participación del público en los programas de reciclaje y separación. Podemos cuantificar la influencia de estos factores mediante la siguiente ecuación:

$$T_i = FC_i \cdot FR_i \cdot FP_i \quad (2)$$

donde, T_i , es la tasa de recuperación del material i , FC_i , FR_i y FP_i , son los factores de composición, recuperación del proceso y participación del público, respectivamente. Los factores de recuperación han sido tomados de la literatura, considerando los



Material	Año de estudio						
	1973	1977	1979	1983	1990	1992	2001
Materia Orgánica	73.00	68.29	63.86	62.20	68.14	49.30	53.90
Papel y Cartón	16.00	19.26	16.42	18.90	14.85	18.80	13.00
Escombros, ceniza y loza	0.60	1.58	7.26	6.50	0.00	5.90	4.00
Plásticos	2.20	2.38	2.72	4.40	5.82	10.30	12.10
Textiles y cueros	2.00	3.37	4.47	3.60	3.85	4.30	5.40
Metales	2.80	2.95	2.24	2.50	2.17	2.30	3.20
Vidrio	0.90	0.89	1.10	1.30	1.44	1.60	1.60
Huesos	2.00	0.26	0.80	0.30	0.00	0.50	0.30
Otros	0.50	0.66	1.11	0.30	3.73	7.00	2.50

Cuadro 5: Evolución de la composición de los RS de la provincia de Santiago de Chile, en porcentajes [11].

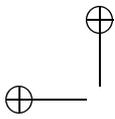
valores típicos para sistemas de recuperación manual de residuos mezclados [15]. La participación de la población se logrará de manera gradual, por lo que se considera que inicialmente la participación será de un 30 %, el año 2003, para luego aumentar hasta llegar a un 85 %, en el año 2030. Obviamente este factor dependerá de la intensidad, amplitud y eficacia de las campañas de educación y concientización que se realicen. En el Cuadro 6 se tiene el detalle de los valores calculados para las tasas de recuperación de los materiales considerados.

Material	Composición	Composición	FR	FP	FP	T	T
	Año 2002	Año 2030					
Materia orgánica	0.600	0.539	0.90	0.30	0.85	0.162	0.412
Plásticos	0.106	0.121	0.80	0.30	0.85	0.025	0.082
Papel y cartón	0.050	0.130	0.75	0.30	0.85	0.011	0.083
Vidrio	0.023	0.016	0.75	0.30	0.85	0.005	0.010
Metales diversos	0.023	0.032	0.90	0.30	0.85	0.006	0.024
Totales	0.802	0.838				0.210	0.612

FR: Factor de Recuperación.
FP: Factor de Participación.
T: Tasa de recuperación.

Cuadro 6: Tasas de recuperación estimadas para los materiales a ser recuperados o transformados en el sistema de gestión de RS.

Considerando estos valores para la ecuación 2, se tiene que a partir del año 2003 se podrían desviar un 21,0 de los RS generados; esta cantidad podría aumentar gradualmente hasta llegar a un 61,2 %, el año 2030, en la medida en que aumente la participación de la población. Este aumento es optimista si lo comparamos con las fracciones de RS que son desviados de una evacuación final en otras regiones - en los Estados Unidos la cantidad de RS desviados, ha pasado de un 17 en 1985 a un 44 en 1996 [4] -, sin embargo, es una cantidad realista. Por otra parte, la necesidad de desviar los RS de una evacuación final, será cada vez más apremiante, por los costos y las dificultades que se tiene en encontrar sitios adecuados para la construcción de rellenos sanitarios. Con



el tiempo, todas las comunidades estarán obligadas a alcanzar estos niveles de desvío de los RS para prolongar la vida útil de los rellenos sanitarios que serán cada vez más caros y difíciles de operar.

La cantidad y la ubicación de los centros de transformación-reciclaje-transferencia tendrían que ser determinadas en base a un estudio específico, de manera a optimizar los costos de operación y transporte de dichos centros. En estos sitios se realizaría la transformación de los residuos orgánicos en compost, recuperación los materiales reciclables y la transferencia de los RS no valorizables a un sistema de transporte más barato, para que éstos sean llevados hasta el vertedero controlado más cercano. Los requerimientos de espacio para los centros de transformación-reciclaje-transferencia, dependerán de la cantidad de RS a tratar y de la tecnología de compostaje utilizada, a manera de indicación podemos decir que para tratar los RS generados por el municipio del cercado se requeriría de un terreno de entre 8 a 10 has, utilizando técnicas modernas de compostaje. Es una superficie que puede ser ubicada con relativa facilidad en este municipio ya que no representa un riesgo ambiental muy grande y las molestias que provoca en la vecindad son controlables.

3.4.5. Disposición final

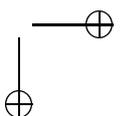
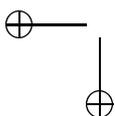
La disposición final se haría en uno o dos vertederos controlados. La capacidad de los mismos tiene que ser calculada con mucho cuidado, considerando el periodo de tiempo durante el cual se desea operar los mismos. En principio, el periodo mínimo de operación de un vertedero es de unos 20 años, ya que los costos de construcción del mismo y, sobre todo, de ubicación, son elevados y no se justifica construir un relleno sanitario por un tiempo menor de operación [14, 15].

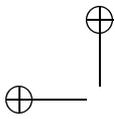
Para fines de diseño del relleno sanitario, lo importante es estimar el volumen que ocuparán los RS que deben ser evacuados al relleno sanitario. Esto debe tomar en cuenta la cantidad de RS que son desviados mediante re-uso, reciclaje y transformación. La formula general para estimar el volumen acumulado de los RS generados (VAR) es la siguiente [14]:

$$V_{AR} = v \cdot \int_0^t (1 - FD(t)) \cdot P(t) \cdot G(t) \cdot dt \quad (3)$$

donde P(t) define la proyección de la población, G(t) representa los cambios en la tasa de generación de RS per cápita en función del tiempo, FD(t) es la fracción de RS que es desviada del vertedero, y v es el volumen específico de los RS una vez depositados en el vertedero. Considerando esta ecuación, vemos que la precisión de esta estimación, dependerá de la calidad de las proyecciones de las diferentes variables que intervienen.

Para el cálculo de la capacidad requerida del relleno sanitario para la ZMC, se ha considerado que el relleno debería atender las necesidades de evacuación final, desde al año 2004 hasta el año 2030. Para calcular el volumen del relleno sanitario en si (VRS), tenemos que tomar en cuenta además el volumen que es ocupado por el material de cobertura que se utiliza en el relleno sanitario. Este material tiene un rol fundamental en el control del impacto ambiental del relleno sanitario, sobre todo durante el período de operación del mismo. El volumen ocupado por el material de cobertura varía entre





un 15 al 20 %, dependiendo de la calidad del material para la función que cumple. De esta manera el volumen efectivo de relleno sanitario se calcula mediante la siguiente ecuación.

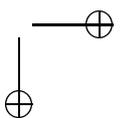
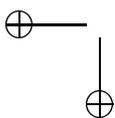
$$V_{RS} = \frac{V_{AR}}{1 - f_c} \quad (4)$$

donde, VRS es el volumen del relleno sanitario, VAR es el volumen acumulado de los RS y f_c es la fracción de volumen ocupada por el material de cobertura del relleno. Utilizando estas ecuaciones, se ha calculado el volumen requerido para el relleno sanitario para diferentes periodos de operación comenzando el 2004 y terminando el 2030. Como valores adicionales, tenemos que la densidad de los RS en el relleno sanitario está entre 700 y 1000 kg m⁻³, según datos de rellenos sanitarios de otras ciudades latinoamericanas [2] y otras de países en desarrollo [13]; para el cálculo, se consideró un volumen específico de 1 m³ ton⁻¹ que es un valor optimista. Además, se tomó en cuenta que el sistema tendría una cobertura del 95 de la población de la ZMC. La superficie requerida para el sitio de vertido se calculó considerando que la altura promedio del relleno sería de unos 12 m, esta profundidad es relativamente optimista ya que en algunos casos las condiciones del terreno limitan la profundidad a unos 4 a 6 m [15]. Los resultados se encuentran en el Cuadro 7.

Año	Generación acumulada [ton]	V _{RS} sin desvío [m ³]	V _{RS} con desvío [m ³]	Superficie sin desvío [has]	con desvío [has]
2010	2022756	2260728	1643551	18.8	13.7
2015	3998047	4468406	3055458	37.2	25.5
2020	6474580	7236295	4620088	60.3	38.5
2025	9481119	10596545	6269990	88.3	52.2
2030	13020740	14552592	7918566	121.3	66.0

Cuadro 7: Requerimientos de volumen y superficie para el (los) rellenos sanitarios de la zona metropolitana de Cochabamba que inicie operaciones el año 2004.

Estos resultados muestran claramente la importancia de incluir, en el sistema de gestión de los residuos sólidos, estrategias de reducción y separación al origen, reciclaje y transformación (compostaje) de los RS. En un escenario optimista de desvío de los RS, que tienen que ser evacuados a un relleno sanitario, como el que se propone en este trabajo; se tendría una reducción de un 46 en los requerimientos de volumen del relleno sanitario y por ende en la superficie de terreno destinada a este uso, para el periodo de operación 2004-2030. Además del ahorro de superficie de terreno, también se tendrían ahorros importantes por la reducción del costo de transporte de RS hasta el sitio del relleno sanitario. Pero, es todavía más importante considerar que los ahorros en espacio y transporte, serán todavía mayores después del 2030, para el nuevo relleno sanitario que habrá que construir a partir de ese año que seguramente se ubicará en una zona mucho más alejada. La Figura 3 muestra gráficamente la evolución de los requerimientos de volumen para la opción propuesta.



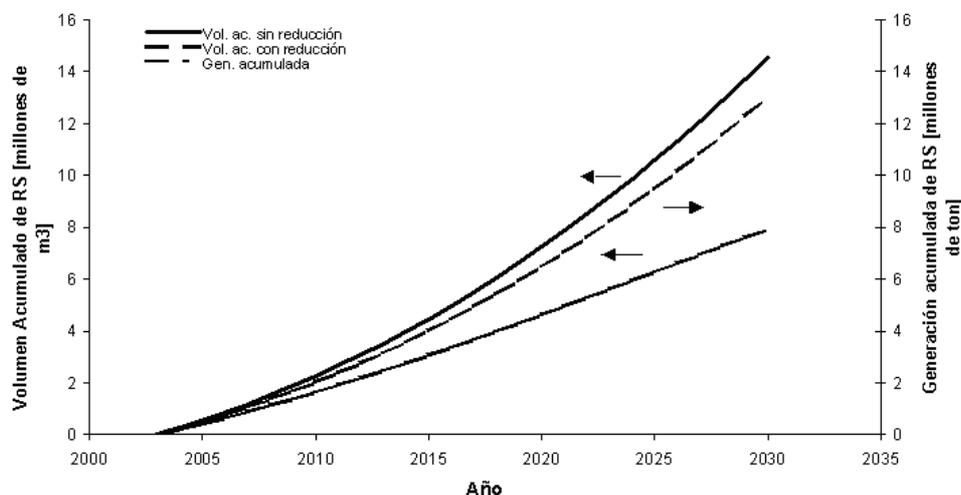


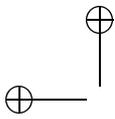
Figura 3: Proyección de la generación acumulada de RS y los requerimientos de volumen para el relleno sanitario, con y sin reducción de los RS que son evacuados al relleno sanitario.

4. Conclusiones

La propuesta para gestión de los RS de la zona metropolitana de Cochabamba desarrollada en el presente trabajo, no pretende dar una respuesta final a esta problemática, pero sí pretende establecer algunos lineamientos básicos que permitan orientar el debate y las decisiones que se tomen respecto a la gestión de los RS. Será necesario trabajar ampliamente todos elementos del sistema de gestión con mucho más detalle y, sobre todo realizar estudios y análisis económicos financieros que orienten las decisiones que se tomen en el diseño final del sistema.

Sin embargo, el análisis de la propuesta, muestra claramente que es necesario incluir en el sistema de gestión que se vaya a definir, estrategias básicas como la reducción y separación al origen, que permitirá obtener materiales que puedan ser revalorizados con mayor facilidad - es el caso de los plásticos, papel y cartón, metales y vidrio - y también obtener compost de excelente calidad, que puede ser utilizado para mantener la fertilidad de las zonas agrícolas del valle central y los valles aledaños.

El establecimiento de centros de reciclaje-transformación-transferencia, permitirá la reducción de la cantidad de RS que tienen que ser destinados al relleno sanitario y de esta manera prolongar la vida del mismo. Además, hay que pensar que, a futuro, se tendrán que construir otros rellenos sanitarios, que seguramente estarán cada vez más alejados de los centros urbanos ubicados en la ZMC. Si no se cuentan con estos centros de transferencia, los costos de transporte serían excesivamente elevados, por lo que es necesario prever desde ahora la creación de estos centros al interior del valle central. Por otra parte, los materiales reciclados y el compost generarán una fuente de ingreso que, en principio, permitirá cubrir en parte los costos de operación y mantenimiento del



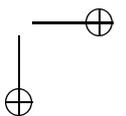
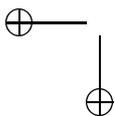
sistema de gestión, lo que redundará en un servicio más económico para la población.

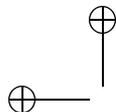
La ubicación de un relleno sanitario será más fácil si se aplica la presente propuesta, ya que, por una parte, requerirá de una menor superficie, y por otra, la eliminación de los RS orgánicos de los RS que son destinados al vertedero, reducirá las molestias que provoca a la vecindad la presencia de un relleno sanitario. La operación misma del relleno será facilitada, debido a que la fracción seca que sería destinada al relleno, produce mucho menos cantidad de sustancias contaminantes como gases, lixiviados y malos olores.

Para terminar, quisiera subrayar que el análisis y la evaluación de un sistema de gestión de RS, debe tomar muy en cuenta la sostenibilidad a largo plazo del mismo. En este sentido, las decisiones que se tomen sobre el sistema de gestión que se implemente en la ZMC, tienen que estar en lo posible al margen de intereses sectarios, sean estos económicos, sociales y sobre todo políticos. No hay que olvidar que el ser humano nunca dejará de generar residuos sólidos, lo que implica que los sistemas de gestión de RS tendrán que ser pensados para siempre, si no queremos que se hagan realidad las sabias palabras del jefe indio, Noah Sealih, refiriéndose a los “blancos”, en su carta dirigida al presidente de los Estados Unidos, Franklin Pierce, el año 1845: “Contaminan sus lechos y una noche perecerán ahogados en sus propios desperdicios” [12].

Referencias

- [1] Estimating per capita residential/commercial waste generation. Ohio EPA recommendations. http://www.epa.state.oh.us/dsiwm/document/swmdclear/per_capita_gen_prediction.pdf, acceso marzo, 2003.
- [2] UNEP International Source Book on Environmentally Sound Technologies (ESTs) for Municipal Solid Waste Management (MSWM). <http://www.unep.or.jp/-ietc/ESTdir/Pub/MSW/index.asp>, acceso mayo, 2003.
- [3] J. Castellón. La gestión y tratamiento de los residuos sólidos de la ciudad de Cochabamba. *Revista Ecológica de Bolivia*, 1(1):89–91, 1996.
- [4] W. Eberle. U.s. solid waste trends. http://www.healthgoods.com/Education/Environment_Information/Solid_Waste/solid_waste_trends.htm, acceso abril, 2003.
- [5] EMSA, Cochabamba, Bolivia. *Separación de la Basura.*, 1995. Programa Sobre la Gestión de los Residuos Sólidos.
- [6] F. Esquinca, J. Escobar, A. Hernández, y J. Villalobos. Caracterización y generación de residuos sólidos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS-OPS. <http://www.cepis.ops-oms.org>, acceso agosto, 2002.
- [7] Instituto Nacional de Estadística de Bolivia. Bolivia: Características de la población. En 2003, editor, *Censo Nacional de Población y Vivienda 2001*. La Paz, Bolivia.





- [8] Instituto Nacional de Estadísticas de Bolivia. <http://www.ine.gov.bo/>, acceso mayo, 2003.
- [9] L. Najjar, M. Molina, y S. Prósperi. Tasas de generación de residuos sólidos urbanos. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS-OPS. <http://www.cepis.ops-oms.org>, acceso mayo, 2003.
- [10] P. O’Leary y P. Walsh. *Decision Maker’s Guide to Solid Waste Management*, Vol. II. Office of Solid Waste U.S. Environmental Protection Agency, Washington D. C., 1995.
- [11] J. Orccosupa. Relación entre la producción per cápita de residuos sólidos domésticos y factores socioeconómicos. <http://www.cybertesis.cl/www-tesis/Tesis/JOrccosupa/JOrccosupa.pdf>, acceso mayo, 2003. Tesis de Maestría.
- [12] Noah Sealh. Carta al jefe de los blancos, 1845. <http://www.enbuenasmanos.com/ARTICULOS/muestra.asp?art=300>, acceso mayo, 2003.
- [13] S. Singhal y S. Pandey. Solid waste management in India: status and future directions. <http://www.teriin.org/envis/times6-1.pdf>, acceso mayo, 2003.
- [14] G. Tchobanoglous, H. Theisen, y S. Vigil. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Vol. I. McGraw-Hill, España, 1994.
- [15] G. Tchobanoglous, H. Theisen, y S. Vigil. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Vol. II. McGraw-Hill, España, 1994.
- [16] U. S. Environmental Protection Agency. Municipal solid waste. <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/reduce.htm>, acceso mayo, 2003.
- [17] R. Zaltzman. El destino de los desechos sólidos. <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/curso/destino/destino2.html>, acceso febrero, 2003.

