

POTENCIAL ENERGÉTICO CONTENIDO EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS. REALIDAD BRASILEÑA.

RESUMEN

La producción de residuos sólidos brasileña totaliza 199.000 ton/día; siendo, 50% orgánicos, 95.000 tons. de materia rica en elementos biodegradables, difíciles de incinerar para recuperar energía, pero con alto potencial de producir biogás; es un material enterrado sin tratamiento previo, provocando impactos a la salud humana y ambiental. Esta ponencia aborda el grave problema brasileño de dar destino adecuado al inmenso volumen de residuos que presenta posibilidades de generar abundantes cantidades de biogás usando a técnica biodigestora y, así, conseguir producir electricidad, contribuyendo con la independencia de fuentes tradicionales y fluctuantes de energía, como la hidroelectricidad. Existe otra alternativa eficiente de conseguir energía para generar electricidad, a través de la incineración del potencial energético contenido en la basura seca *in natura* ('mass burn'), o bien en la masa de residuos ya segregados y secos para obtenerse vapor y accionar generadores capaces de proveer de una buena cantidad de energía eléctrica para satisfacer las demandas de ciudades medias.

Palabras clave: Residuos sólidos municipales; aprovechamiento energético; biodigestión; reciclaje de residuos.

SUMMARY

Brazil produces 199,000 tons/day of municipal solid waste, that these total, 50 % are organic, 95,000 daily tons of material rich in biodegradable substances, difficult to incinerate with energy recovering, but with high potential to produce biogas; it is a waste which fills, without pretreatment, with impacts to human health and environment. This paper will address the problem in Brazil where the immense volume is discarded, with potential to generate biogas through biodigestion and get electricity, replacing traditional sources, (hydroelectric power). There is another possibility of electrical power attained (Waste to energy) transforming the energy potential contained in the dry garbage *in natura* (Mass burn) or, segregated and dry (RDF) to be achieved by steam and move to get and moving steam generators through biodigestion and get electricity, replacing hydroelectric power. So a city with 150,000 inhabitants, potentially produce 56,7 gas cylinders of 5 kg. per day, production would make any profitable venture given the price of that.

Key words: Municipal solid waste; energy use ; biodigestion ; waste recycling.

RESUMO

Brasil produz em torno a 200.000 tons/dia de resíduos sólidos municipais (RSM), metade deles, orgânicos, biodegradáveis; são 95.000 tons/dia difíceis de incinerar para a obtenção de energia, mas apresentam alta possibilidade de obtenção de biogás. É um material aterrado, no melhor dos casos, sem tratamento, causando impactos à saúde humana, animal e meio ambiente. Esse trabalho aborda o perene problema de dar destinação certa ao imenso volume de RSM que, potencialmente, produziria biogás empregando técnicas biodigestoras para gerar eletricidade e conseguir independência das fontes tradicionais e flutuantes de produzir energia, como hidreletricidade. Outra alternativa eficiente de conseguir energia elétrica é a incineração do potencial energético contido nos RSM secos *in natura* ('mass burn'), ou capturar o gás da massa de resíduos já segregados e secos e obter-se vapor acionando geradores para fornecer energia elétrica ou para ser liquefeito e comercializado para uso doméstico e satisfazer demandas em constante crescimento. Palavras chave: Resíduos sólidos municipais; recuperação de energia; biodigestão; reciclagem de resíduos.

**PROF DR. MANUEL R.
BERRÍOS-GODOY**

rolando@rc.unesp.br

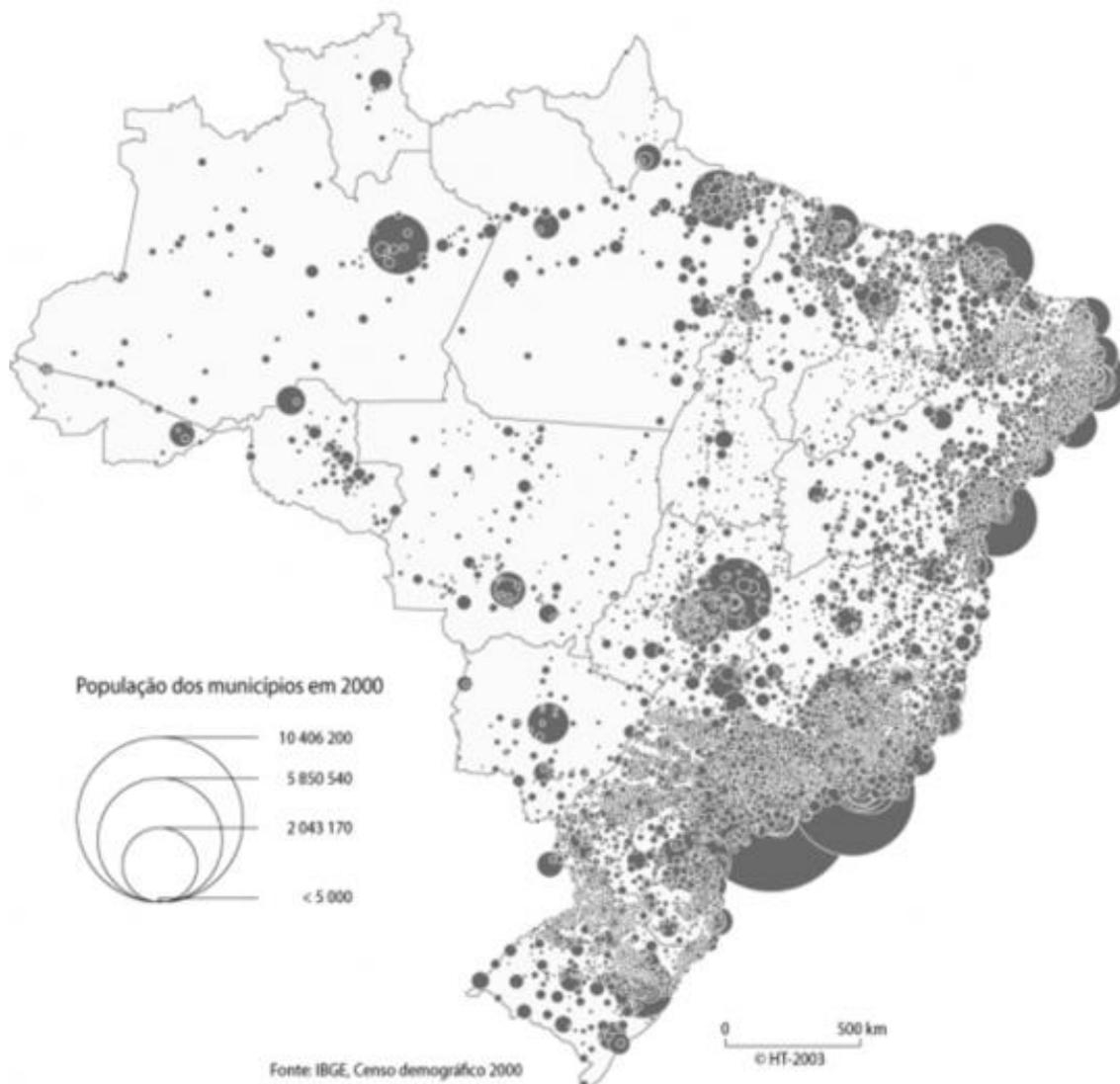
Profesor DEPLAN, IGCE,
Universidade Estadual Paulista-
UNESP-RC. Brasil

INTRODUCCIÓN

Según datos de la ABRELPE (2012), Brasil produce 199.000 ton/día de residuos sólidos municipales (RSM), de ese total, entre 40 y 60% son restos orgánicos, putrescibles, o sea en torno de 100.000 ton/día, de los que se podría obtener bioenergía, por la captación del metano, sólo por la descomposición de esos materiales, sin considerar otro 35 a 45% de los restos “limpios” posibles de incinerar con recuperación de energía (unas 80.000 ton/día). Es claro que esa generación potencial está repartida por los 8,5 millones de km² de superficie del país en que se distribuyen de forma heterogénea los 202,5 millones de habitantes, (IBGE, 2014). El país cuenta con áreas de elevada densidad demográfica y con vacíos demográficos, pudiendo ser posible en los espacios con mayor población, recuperar la energía de gases emanados por la biodegradación del material orgánico, así como en las 17 aglomeraciones urbanas que superan el millón de habitantes y otras áreas de alta densidad demográfica, facilitando la concentración de residuos y su procesamiento. La creación de emprendimientos sería viable económica y ambientalmente.

Es una producción de RSM elevada, distribuida en un inmenso territorio pero, como ya anotamos, posible de procesar en áreas en donde se presenten condiciones favorables, como en las metrópolis que concentran espacialmente grandes producciones de residuos, ciudades, hasta ahora, que no aprovechan ese recurso, salvo algunas excepciones, como las captaciones en los aterros sanitarios Bandeirantes y São João, en la ciudad de São Paulo. Lo mismo ocurre en áreas con densas redes de ciudades de tamaño medio o grande, con población superior a 150.000 habitantes, (Figura 1), conectadas por sistemas de carreteras eficientes, capaces drenar la generación de residuos de diferentes ciudades y concentrarla en unidades seleccionadas por criterios de centralidad y de conectividad, tratando en ellas los RSM procedentes de las diversas ciudades consideradas.

El mapa a seguir (figura 1) muestra que la mayor concentración de población es en el estado de São Paulo, luego en los estados de la Región Sudeste y los del Sur; también la densidad es elevada en el litoral de la Región Nordeste. En ellos podrían crearse condiciones favorables para concentrar y recibir, en locales técnicamente establecidos, los RSM regionales y establecer políticas públicas incentivando la instalación de plantas biodigestoras aprovechándose el gas generado, pudiéndose también, recuperarse el material sólido residual para conseguir compost orgánico.

FIGURA 1 DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN BRASILEÑA EN 2000.

Fuente: IBGE, 2000

El resto del país, en la actualidad, no reúne las condiciones básicas necesarias para pensarse en instalar plantas procesadores de restos orgánicos, (Regiones Norte, Centro Oeste e Interiores del Nordeste), pues se trata de ciudades pequeñas, o medias, con dificultades económicas y técnicas, distantes entre sí y con redes viarias deficientes, dentro de un verdadero vacío demográfico. Se exceptúan grandes ciudades que, por su volumen de residuos, podrían justificar la instalación en ellas; son los casos de capitales estaduais como Belén, Manaus, Goiania, Brasilia, Cuiabá y Campo Grande.

Para el resto de los centros poblados distantes, de reducida población y dificultades de conexión, habría que pensar en otras soluciones, como implementar técnicas de producción de compost y procurar conquistar mercados locales y regionales dando, así, tiraje a la producción diaria de ese abono. Otra posibilidad consistiría en recuperar materiales destinados al reciclaje industrial. En este caso se necesita implementar la recolección selectiva de la basura, como lo determina la ley 12.305 de agosto de 2010, que instituye la Política Nacional de Residuos Sólidos, que obliga a los municipios a implantar programas de recolección selectiva. Esta posibilidad aplicada a ciudades pequeñas sería posible una vez que los materiales destinados para el reciclaje industrial no son perecibles, pudiendo ser estocados hasta ser vendidos para la industria.

Es importante pensar en términos del potencial energético de los RSM. Si se considera que el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en Brasil es superior al aumento de la población en más de dos puntos y si se tiene presente que la generación de basuras también es mayor que el aumento de la población, en simples palabras se puede concluir que sobran RSM y falta electricidad. Se agregamos el hecho de que en los entornos de las grandes ciudades y aquellas conurbadas, ya no existen más espacios para construir rellenos sanitarios, en el mejor de los casos, ya que dominan los botaderos irregulares. Además, las restricciones legales son cada día más estrictas, limitando las posibilidades de instalar rellenos sanitarios si no se cumplen una serie de requisitos. Sin considerar que esta técnica de enterrar RSM sin recuperar restos de valor, ya fue descartada en los países nórdicos por considerarse que se entierran grandes masas de RSM sin que se aproveche su potencial energético o se recuperen materiales reciclables (FLYHAMMAR, P., 2011). La recuperación energética a partir de los RSM en Suecia llega a tal extremo que los residuos de este país no alcanzan para satisfacer las necesidades internas, debiendo importarlo, como reporta Nisz (2012):

“Según la Public Radio International, cerca de 20% de la energía usada para la calefacción de edificios públicos y la energía eléctrica usada en 250 mil casas es obtenida por la incineración de residuos sólidos. Pero el país (...) enfrenta un problema para conseguir esa energía sostenible. El programa de reciclaje de basura (...) es tan bueno que el país (...) importa cerca de 800.000 ton de basura por año para generar energía”.

En Brasil, la solución al déficit de energía eléctrica, vía construcción de faraónicas plantas hidroeléctricas –Itaipu-, viene siendo ampliamente cuestionada desde 1980, principalmente con la construcción de la central Balbina, usina con una inmensa represa que inundó amplias áreas de selva amazónica para producir una cantidad baja de hidroelectricidad. Actualmente, se insiste en implantar mega-emprendimientos en plena selva amazónica, a pesar de las opiniones en contra. Están en plena construcción, con un costo inicial de 15 billones de dólares, los grandes emprendimientos hidroeléctricos de Belo Monte, 11.223 MW, Girau, 3.300 MW y Santo Antonio, con capacidad instalada de 3.150 MW, Belo Monte, el segundo mayor de Brasil después de Itaipu. Ellos han recibido agrias críticas por parte de la sociedad y dentro de las mismas esferas de gobierno. Las críticas van desde la elaboración de sus proyectos, que no obedecieron a las tramitaciones procesuales para conseguir las autorizaciones pertinentes de construcción, hasta la indignación social por los graves impactos a vegetación y fauna amazónicas, pasando por la cuestión indígena, descontento materializado en diversas ocasiones con protestas y hechos violentos con heridos y pérdidas materiales considerables.

Con relación a la construcción de nuevas grandes plantas hidroeléctricas, el gobierno está siendo muy cuestionado y tendrá que rever la política energética nacional, más aún, con la drástica sequía de 2014-2015. La implantación de nuevas termoeléctricas de bajo impacto ambiental es de costo económico muy elevado, por las altísimas inversiones que deben efectuarse en términos de tecnologías anti-contaminantes exigidas por la ley. A esto se agrega el alto costo de funcionamiento debido a los elevados precios de los insumos y al tiempo que debe ser pago a los emprendedores mientras sus turbinas estén paralizadas, cuando la oferta de hidroelectricidad suple la demanda interna, costo que, aún sin generar electricidad, el gobierno paga a sus propietarios, como si estuvieran produciéndola. Es un costo de la energía eléctrica que no toda la sociedad puede arcar. Este problema es grave, como ocurre con la extrema sequía que está afligiendo a la Región Sudeste, básicamente a los 20 millones de habitantes de la megalópolis de São Paulo, en que la mitad de ellos corre peligro de quedar sin agua ni para beber en 2015.

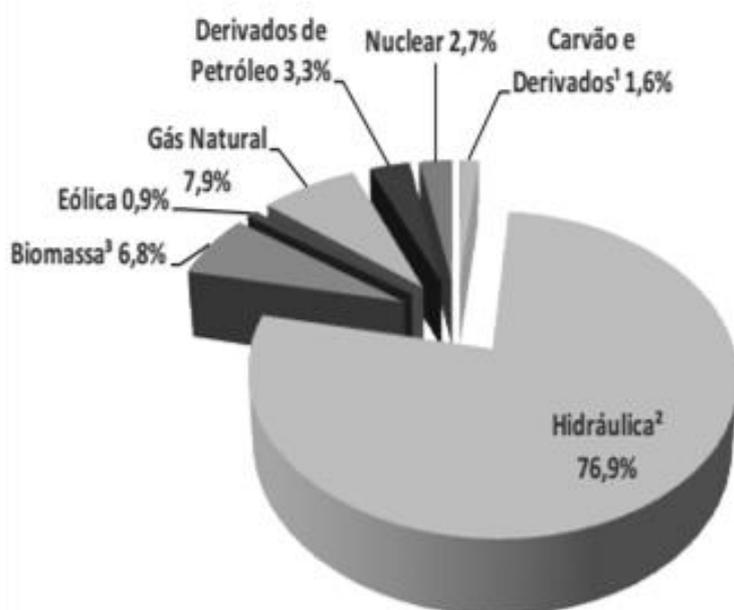
NUEVAS ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS

Aunque nos son tan nuevas mundialmente las modalidades de obtención de energía eólica, fotovoltaica, mareomotriz, nuclear y menos la térmica, para Brasil si lo son. Las tres primeras en la actualidad presentan una participación insignificante en la matriz energética nacional. Ya las térmicas existentes desde hace más tiempo, movidas a insumos no renovables, cada vez son objeto de críticas, más aun cuando emplean carbón sin la aplicación de tecnología de punta para evitar los impactos a la atmósfera. Así surgen como alternativas viables, en fase de investigación y testes a las fuentes tradicionales de energía, el empleo de combustibles renovables y abundantes, como el uso de la biomasa, que responde solo con 6,8% de la matriz energética de Brasil, (Figura 2). En este ítem, investigadores y órganos científicos nacionales han desarrollado tecnologías para la obtención de energía de los residuos oriundos de materias residuales de actividades silvícolas y agrícolas.

Desde la crisis que atravesó el país en la producción de hidroelectricidad, en 2001 y 2003, políticas públicas se implementaron para el aprovechamiento de residuos del procesamiento de la caña de azúcar, principalmente. Las refinerías luego de satisfacer sus necesidades propias de energía eléctrica, el excedente pasó a ser vendido al sistema general de producción y distribución del país supliendo, en parte, el déficit energético, práctica hasta ahora en uso. Son diversas las formas y orígenes en que se presenta la biomasa en su estado natural o semi-procesado. A pesar de que Brasil con inmenso potencial bioenergético, éste no alcanza el 7% del total de los insumos energéticos. Sin embargo, el empleo de la caña de azúcar se desarrolló bastante a partir de la crisis mundial del crudo, siendo reconocidos sus avances internacionalmente.

Los diversos tipos de alcohol de caña de azúcar, f del aprovechamiento eficiente, limpio, renovable y alternativo combustible vehicular, ofrecen grandes chances futuras de utilización, como el uso de residuos de la planta de la caña en la incineración con recuperación energética, restos hasta hoy poco utilizados.

A este recurso renovable, se agregan otros en fase de estudios y de implantación en Brasil. El briquetaje se ha ampliado de forma notoria; es una técnica que consiste en "... la aplicación de presión y temperatura en determinada masa de residuo, la cual es compactada en una briquitadera y el producto final es conocido como briquet" (RODRIGUES; CARNEIRO; MUDADO, 2013).

FIGURA 2. MATRIZ ELÉCTRICA BRASILEÑA. 2012.

Generación hidráulica² em 2012: 455.6TWh
 Generación total² em 2012: 592.8TWh

¹Incluye gas de carbón coque

²Incluye importación

³Incluye leña, restos de caña de azúcar, lixivia y otras recuperaciones

Fuente: Empresa de Pesquisa Energética, MME, 2013

El briquetaje sirve para procesar, entre otros, fibra de coco, residuos de arroz, de café, de maíz, de papel, de madera, podas, lodos e residuos de la industria de celulosa, etc., materiales que una vez deshidratados, son prensados y cortados en pedazos (pelets), muy valorizados como combustibles en calderas y otros sistemas de combustión.

Posteriormente a los años 2001-2003, se registraron nuevos períodos de déficit hídrico que impulsaron una mayor producción de energía de la biomasa. Este aumento se debe, en gran medida, de acuerdo con la Empresa de Pesquisa Brasileira, EPE, (2013), a la “menor oferta hídrica que explica el retroceso de algunas fuentes renovables en la matriz energética de 88,9% para 84,5 en este año -2013- (...) debido a las condiciones hidrológicas (desfavorables) observadas en 2012”. Habría que agregar que en este momento (febrero de 2015), la ciudad de São Paulo atraviesa por uno de los peores períodos de sequía de su historia.

Este nuevo factor climático que incide directamente en el caudal de los ríos y, por consiguiente, en la producción de hidroelectricidad, ha servido para proporcionar estudios con resultados provisionarios, no conclusivos, preocupantes por tratarse de extremos del clima recientes sobre los cuales se dispone poca información y, aun estando en los bancos de datos, su estudio requiere series de períodos prolongados para establecer comportamientos típicos. En este sentido, los gobiernos deberían repensar los efectos del cambio y extremos climáticos, no únicamente en la generación eléctrica, sino también en otros sectores de la actividad nacional y rever las bases de sus matrices energéticas. Dependier mayoritariamente del caudal de los ríos sería una temeridad muy peligrosa para las actividades de una nación.

Ante las últimas variaciones climáticas, con lluvias concentradas o déficit de ellas, ante el rechazo social a los emprendimientos hidroeléctricos ante los impactos ambientales y ante la pequeña participación de otras fuentes energéticas renovables, la utilización de la masa abundante y creciente de RSM, pasa a ser un recurso no utilizado con grandes potencialidades. Puede ser viable el empleo del potencial energético contenido en la masa de residuos, restos que serían una atractiva modalidad para obtener energía. Ellos son factibles de aprovechar por medio de técnicas de incineración directa (mass burning), o a través del proceso de biodescomposición (biogestion).

En la actualidad, insistimos, las ‘nuevas’ fuentes energéticas alternativas, limpias y renovables, (eólica, fotovoltaica y biomasa), son de representatividad extremadamente reducida, a pesar del inmenso potencial de utilización en Brasil, distinguiéndose por tener apenas carácter experimental y muy poco uso pragmático. Falta legislar y establecer políticas públicas que fomenten la implementación de estas ‘nuevas’ fuentes de energía. Sin embargo sus potencialidades son bastante auspiciosas dadas las características de la geografía física del país: a) un litoral que se extiende por 7.367 kms. con regiones de vientos constantes posibles de aprovecharse en la generación de energía eléctrica; b) una inmensa zona de clima semi-árido cubriendo 982.563 Km² (cerca de 11% del total del territorio), con insolación dominante la mayor parte de los días; c) la inmensa Amazonia con su cubierta vegetal exuberante es el mejor ejemplo del potencial sustentable y selectivo de biomasa, sin contar con otros biomas naturales y los residuos provenientes de la expresiva producción agropecuaria del país.

FIGURA 3 – EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA EN BRASIL

FONTES NÃO RENO- VÁVEIS	2003	2005	2007	2009	2011	2012	SOURCES NON REWA BLE ENERGY
PETRÓLEO	42,0	42,0	40,6	42,0	42,5	41,6	PETROLEUM
GÁS NATURAL	8,5	8,8	8,1	8,7	9,3	9,9	NATURAL GAS
CARVÃO VAPOR	1,0	1,2	1,0	0,8	0,8	1,0	STEAM COAL
CARVÃO META- LÚRGICO	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	METALURGIC COAL
URÂNIO (U3O8)	1,5	0,7	1,6	1,7	1,6	1,5	URANIUM- (U3O8)
RENOVÁVEIS	47,0	47,3	48,7	46,7	45,7	46,0	RENEWABLE
ENERGIA HI- DRÁULICA	14,3	14,5	14,4	14,0	14,4	13,9	ENERGY HYDRAULIC
LENHA	14,1	14,2	12,8	10,2	10,1	10,0	FIRE- WOOD
PRODUTOS CANA-DE- AÇÚCAR	15,4	15,5	18,1	18,6	16,9	17,5	SUGAR CANE PRODUCTS
OUTRAS RE- NOVÁVEIS	3,1	3,2	3,4	3,9	4,4	4,6	OTHERS
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	TOTAL

Fuente: EPE (2013)

De esta forma, el potencial energético que ofrecen los RSM alcanza magnitudes considerables, posibles de aprovechar aplicando tecnologías adecuadas y creándose las condiciones favorables por parte del poder público. Para la realidad nacional, la modalidad que creemos ser la más adecuada sería la de biodescomposición con reaprovechamiento energético, con múltiples uso. La incineración *in natura* no sería la más recomendable. Su utilización no sólo contribuiría con una nueva fuente de energía, sino que se pondría fin al crónico problema de los residuos sólidos en las ciudades y las consecuencias negativas sociales, ambientales, espaciales y económicas conocidas.

Así, Brasil, con su enorme territorio e inmensas reservas naturales, se vislumbra como país capaz de enfrentar contingencias futuras en la oferta de energía y adaptarse a nuevas modalidades de energía limpia y sustentable. Es necesaria más investigación científica y tecnológica, implementación de políticas públicas y de la participación de la sociedad ante los nuevos desafíos.

POSIBILIDADES DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA DE LOS RSM.

Obtener metano de restos orgánicos dispuestos en equipamientos o en aparatos diseñados para aprovechar ese gas, forma parte de prácticas antiguas destinadas a conseguir energía. Su uso en China tiene un carácter pragmático y social una vez que en las comunidades agrícolas, el material putrescible silvoagropecuario y doméstico es concentrado en biodigestores para fermentar y biodescomponer con aplicaciones en iluminación, cocina, mover máquinas, secar cosechas, entre otros usos. El gas conseguido es distribuido para la comunidad local. En 1979 había "...más de siete millones de biodigestores en operación en nuestro país" (CHINA, 1982). China basa parte de su matriz energética en el aprovechamiento de los RSM y de residuos de alcantarillas empleando tecnologías muy simples. Se consideran los residuos orgánicos de gran valor; su uso tiene un carácter pragmático y social una vez que en las comunidades agrícolas, el material putrescible silvoagropecuario y doméstico se concentra en biodigestores para fermentar y biodescomponerlo, además de emplear los residuos de alcantarillas para abonos en la agricultura (EDWARDS, 1982), una vez que los consideran "recursos de gran valor y los reciclan en gran escala". Obtener metano de restos orgánicos dispuestos en equipamientos propios para ese objetivo en aparatos diseñados para aprovechar el gas, son prácticas antiguas destinadas a conseguir energía. Esa técnica es muy común también en otras comunidades.

Considerando el inmenso volumen de residuos que se evacúan de las grandes ciudades y que se sepultan diariamente sin desagregar fracciones de materias útiles, hace algunas décadas Purcell (1980), consideraba que los RSM eran "recursos fuera de lugar" y en verdad lo son.

Brasil, con generación diaria de 200.000 ton/día de RSM, es una cantidad significativa. Evidente que no toda esa masa reúne condiciones de ser concentrada en algunos pocos lugares de recepción y ser procesado, sin embargo es un potencial para la recuperación de energía que podría materializarse en algunos centros urbanos específicos, como, de hecho se hace. Si establecemos *grosso modo* que 40% de la masa de RSM es material putrescible, biodegradable, las posibilidades de obtención de energía son considerables a través de la captación del gas metano que de ella emana.

Como ya indicado, no toda la fracción biodegradable podría ser reunida para este objetivo debido a las características físico-territoriales y demográfico-sociales propias de Brasil. A pesar de esto, en los grandes centros urbanos y áreas de alta densidad demográfica sería posible biodescomponer esa masa por medio de tecnologías ya disponibles para capturar metano y aplicarlo en la transformación en energía eléctrica.

Para tenerse un valor aproximado de la cantidad de residuos orgánicos que, biodigeridos, tendrían potencialidad de generar metano, seleccionamos las 188 ciudades brasileñas con población superior a 150.000 habitantes. Ellas suman 98,58 millones de individuos, en un universo de poco más de 200 millones de habitantes en 2014. Conforme estadísticas confiables, un habitante medio coloca 982 gramos de basura diariamente en la puerta de su casa. Luego calculamos la generación diaria de los 98,58 millones de habitantes en las ciudades seleccionadas, lo que dio un total 96.727 ton/día. Para determinar la cantidad total de residuos orgánicos, partimos del supuesto que 40% de la masa de RSM está compuesta por ellos.

Así, hechos los cálculos correspondientes, y obtenido el 40% de la fracción orgánica de la población en ciudades con más de 150.000 habitantes, se infiere que se producirían aproximadamente 38.681 ton/día de restos factibles de biodegradar y conseguirse gas metano. Esta es una cuantía que se ajusta, con margen de error bajo, a la realidad ya que se consideraron como supuestos, valores bien próximos a lo que estimamos que en la práctica se registran.

Partiendo del presupuesto de ser posible rescatar 40% de restos biodegradables de la masa total de RSM, la categoría menor de ciudad considerada, de 150.000 habitantes, generaría 147,3 ton/día de basura no clasificada, de la que si rescatase 40% del total, correspondiente a restos biodegradables, produciría diariamente 58,9 toneladas que, conforme la tecnología a emplearse para capturar el gas y de contarse con personal capacitado, podría ser un emprendimiento con chances de tener éxito. A las 58,9 ton/día de restos putrescibles, las municipalidades agregan más materiales; ellas recogen otros residuos orgánicos –poda de árboles, corte de pasto, restos de ferias libres y otros- posibles de incrementar entre 10 y 15% el peso de los orgánicos ya segregados, pudiéndose alcanzar volúmenes con peso entre 65 y 68 ton/día de compostables.

Ya para la mayor entidad urbana considerada, la Región Metropolitana de São Paulo, con 20.820.093 habitantes (IBGE, 2010), las cantidades de RSM generales y los biodegradables se amplifican exponencialmente: 20.445,3 ton/día y 8.178,1 ton/día respectivamente. La biodescomposición de más de 8.000 ton/día de restos orgánicos tornaría cualquier iniciativa de producción de energía rentable. Evidentemente, los valores antes citados son referenciales, aproximados, con representatividad restringida; sirven solo de parámetros comparativos generales, debiendo ser analizados con las precauciones pertinentes porque múltiples factores podrían alterar el peso, composición, hábitos de consumo de la población, época del año y otras variables físico-químicas y comportamentales ante los residuos. Por esto los factores externos deben tenerse en cuenta y se necesita considerar las especificidades físicas y antrópicas relevantes de cada ciudad a ser estudiada.

Debe tenerse presente que, de acuerdo con la EPE (2008, p. 27), que la calidad y cantidad de biogás producido:

“... depende, entre otros factores, de la tecnología empleada en la digestión. La usina de Tilburg, en Holanda, por ejemplo, puede alcanzar 103 m³/ton de residuos (75% de restos de alimentos y de jardín y 25% de papel no reutilizable), con un contenido de 56% de metano. (La empresa) fabricante de biodigestores, sugiere, como media el valor de 120 m³/ton. de material orgánico. Considerándose esas referencias y la proporción de materia orgánica en la cantidad de RSM generado por una comunidad, puede afirmarse que entre 60 a 74 m³ de biogás son producidos por tonelada de RSM en un proceso de (descomposición aeróbica).

Retomando lo escrito anteriormente, para una ciudad de 150.000 habitantes, con producción de 58,9 ton de residuos orgánicos, se obtendrían entre 353,4 y 435,8 m³/día de biogás. Si consideramos 67 m³ como valor medio la producción padrón a partir de las estimativas de la usina de Tilburg, aludida antes y si suponemos que el metano sea el gas principal contenido en los volúmenes anteriores, podemos transformarlos en kilos generados en la ciudad de 150.000 habitantes. Para ello consideramos la densidad absoluta de ese gas en 0,7174 kg/m³, a 0°C y a una atmósfera de presión. Luego, si transformamos estos valores a unidades conocidas en la práctica (botellones de gas licuado de 5 kg), en el mejor de los casos se podría embotellar diariamente 62,5 cilindros y en la peor hipótesis, 50,7, cantidad no despreciable si se considera el precio comercial del gas licuado es bastante elevado.

Y una metrópolis del tamaño de São Paulo tendría la capacidad de ofrecer entre 52.686 y 60.517,9 m³ diariamente de biogás. En nuestras, cuentas, se obtendría en el peor de los casos, 7,560 millones de kgs. de metano, ó 7.559 de cilindros de 5 kg. de gas por día, y en las estimativas más optimistas, 8.682 botellones, valores que, sin duda, pagarían la inversión para conseguir gas.

En términos de energía, expresada en kilocalorías, (kcal), en Brasil se han calculado los poderes caloríficos para diversas realidades. Así, por ejemplo una de ellas y para un conjunto de cinco ciudades de la *Baixada Santista*, en litoral del Estado de São Paulo (Guarujá, Ubatuba, Praia Grande, São Vicente y Santos), Horth y da Motta (2013) calcularon, a partir de

muestras técnicamente seleccionadas de RSM, los Poderes Calorífico Superior (PCS) e Inferior (PCI) de residuos orgánicos. Se basaron en tres tipos de metodologías: 1) por ensayo de muestra única evaluada en laboratorio; 2) por ecuaciones a partir de la composición elemental y 3) cálculo basado en las fracciones gravimétricas.

Los autores citados consiguieron determinar el PCS de la basura orgánica general, (sin separación de materiales) en 3.869 ± 843 kcal/kg, variando así, entre los máximos y mínimos de 4.712 y 3.026 kcal/kg. En el otro extremo, el cálculo del PCI resultó ser la mitad del valor del PCS: 1.944 ± 138 kcal/kg, valor oscilando entre los extremos de 1.806 y 2.806 kcal/kg. Son índices bajos, inferiores a las kilocalorías emanadas por cada kg de polietileno (10.554), plástico film (9.954), neumáticos (5.517) y pañales descartables (5.469).

En algunos rellenos sanitarios y basurales comunes en Brasil desde hace un tiempo se aprovecha el gas que emana de la masa de basura *in natura* (Bandeirantes, São João, en São Paulo y Cramacho, en Rio de Janeiro). Son empleadas tecnologías que han ido perfeccionándose, pero la producción es baja por falta de políticas públicas capaces de fomentar su desarrollo. Como es un gas obtenido de los mismos depósitos de RSM, presenta dificultades en la captación, transporte y refinamiento por las características físicas de esos locales que complican las operaciones. En todo caso, es una fuente de energía que necesita ser mejor estudiada y con mayor aplicación de capitales.

Es técnicamente mucho más operable concentrar la masa seleccionada de restos orgánicos en depósitos especiales, células de descomposición o biodigestores, para captar el metano en condiciones controladas. Con técnicas más eficientes, su obtención ofrece ventajas operacionales y económicas superiores a la captación directa en rellenos sanitarios porque la concentración en estos depósitos biodigestores permite que la captación sea en locales específicos, confinados y no diseminados. El biogás es posible consumir directamente del biodigestor aplicando tecnologías simples. Exhibe puntos favorables una vez que el poder calorífico no es despreciable: oscila entre 4.500 y 6.000 kcal/m³, igual al del gas natural, (EPE, 2008), muy conveniente ya que no pasa por procesos de refinado, como el gas de hidrocarburos.

Aplicado el biogás a la generación de energía, presenta diversas ventajas favorables para la utilización. El mismo documento de la Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2008, p. 22), agrega lo siguiente:

“En términos eléctricos, considerando eficiencia de 35% en la conversión de energía térmica para energía eléctrica, pueden ser obtenidos entre 120 y 290 kWh por tonelada de RSM, dependiendo del contenido energético de la basura (producción de metano en el gas producido por la DA –descomposición aeróbica-)”.

Referente a los valores calóricos de la basura, específicamente el poder calorífico inferior, el aprovechamiento de este biogás es variable, en función del poder calórico que depende de la composición bio-físico-química de los restos en descomposición. La EPE (2008, p.25) caracteriza y recomienda que:

- “... para PCI inferior a 1.675 kcal/kg, la incineración no es viable técnicamente, (exige la adición de combustible auxiliar);
- Para CPI entre 1.675 y 2.000 kcal/kg. La viabilidad técnica de la incineración depende de algún tipo de pre-tratamiento que eleve el poder calorífico;
- Para PCI superiores a 2.000 kcal/kg., la quema bruta (mass burning) es técnicamente viable”.
-

La elevada producción de RSM orgánicos permite la viabilidad de iniciativas en este sentido. Para ello es necesario que se tengan en consideración ciertos requisitos básicos para que los emprendimientos puedan prosperar y sean ambiental y económicamente posibles de materializar:

- a) El material orgánico debe entrar en la biodigestora lo más “limpio” posible, es decir, sin otros restos no putrescibles;
- b) Para lo anterior, es muy importante implantar la recolección selectiva de basura para segregar el material biocompostable del que no lo es;
- c) Se necesita capital para adquirir y construir las instalaciones del caso las que pueden ser financiadas por agencias o bancos de fomento;
- d) Se requiere un espacio físico que esté en función de las características y del tipo de tecnología que se adquirirá;
- e) Para las actividades de operación y gestión es indispensable contar con técnicos capacitados; son equipamientos operados no por legos;
- f) Dependiendo de la capacidad de procesamiento, se necesita que los planes y proyectos sean aprobados por la autoridad ambiental.

En la región metropolitana de *la Baixada Santista*, antes citada, y más ocho municipios vecinos, se estudia la factibilidad de instalar una planta de tratamiento de RSM con reaprovechamiento energético capaz de 40 MW, lo suficiente para abastecer las necesidades de electricidad de 250.000 habitantes (PEREIRA, 2011). Obtener metano de restos orgánicos dispuestos en equipamientos propios para ese objetivo en aparatos diseñados para aprovechar el gas, es práctica antigua destinada a conseguir energía.

Las tecnologías de aprovechamiento del gas de rellenos sanitarios (*landfill gas*) se caracterizan por ser simples y de costo reducido y aún así, no se ha masificado su uso. La recuperación del gas puede esperar porque es un material que se descompone en su fase anaeróbica, muy lentamente, pudiendo bordear 40 años, de manera que, si actualmente no es posible aprovechar en Brasil, y tantos otros países, será un recurso valioso, posible de captar cuando se den las condiciones económicas y políticas favorables. Por ahora es un recurso energético renovable que espera momentos mejores para ser explotado para generar electricidad, vapor, combustible para calderas diversas, para vehículos, cocinas y otras aplicaciones.

CONSIDERACIONES FINALES

Brasil puede considerarse un gran productor de RSM, aunque no aprovechados sino en una fracción muy reducida. Existen diversos problemas geográficos, económicos y de gestión ambiental que necesitan ser solucionados para recuperar esta importante fuente de energía hasta hoy desperdiciada, problemas no tan difíciles de resolver si establecen las condiciones propicias para ello.

Entre los problemas geográficos se puede citarse la inmensa extensión territorial, con ciudades distribuídas por un territorio de 8,5 millones de km² en que habitan más de 200 millones de habitantes que generan diariamente casi 200 mil toneladas de RSM. Sin embargo la cantidad de población congregada en ciudades medias y grandes es expresiva -96,72 millones de habitantes- generalmente, concentrada en determinados espacios geográficos, facilitando la concentración de residuos orgánicos en determinadas ciudades y en ellas, proceder a la biodescomposición para la obtención de biogás. La posibilidad de incinerar los RSM para recuperar energía es una posibilidad más difícil de conseguir por el bajo poder calórico que ellos contienen.

Establecer las estructuras físicas y equipamientos necesarios para la biodigestión y recuperación de gas puede ser un problema menor en el sentido de que en Brasil existen órganos oficiales, como ministerios y bancos de desarrollo, y entidades privadas, bancos

particulares, ONGs, con capacidad para financiar este tipo de emprendimiento. Además, la recuperación de los capitales invertidos puede recuperarse en plazos corto con la venta del biogás a empresas que trabajan en este sector.

La cuestión de la gestión de los RSM debe pasar por las instancias administrativas y políticas que, en el caso de Brasil, son burocráticas y lentas, capaces de desanimar al emprendedor más persistente. Para conseguir tramitarse de forma más expedita y adecuarse a las exigencias legales tendrá que pensarse en una reforma administrativa y desburocratizada que facilite materializar las iniciativas de este tipo, especialmente por acción de la iniciativa privada. El poder público ha demostrado interés en utilizar el biogás como alternativa energética sostenible y complementar la hidroenergía pero sus resultados hasta ahora no han sido concretos

Son innegables los beneficios que reportaría el empleo del 40 a 50% de la masa de RSM en la generación de energía, entre otros, podría ser controlado el perenne problema de dar destinación adecuada a casi la mitad de los residuos de las ciudades. La vida útil de los rellenos sanitarios aumentaría mucho y con ello, se solucionaría el inconveniente de la falta de espacios aptos para disponerlos. Además se resolverían, en gran medida, los impactos ambientales que la masa de restos origina por la disposición incorrecta impactando los sistemas ambientales en las periferias urbanas.

REFERENCIAS.

- ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2012. São Paulo: ABRELPE, 2012.
- CHINA. Biogas utilization and comprehensive development in China. In. **Environment and development in Asia and the Pacific. Experience and prospects**. Nairobi: United Nations Environment Programme. UNEP Reports and Proceedings, serie 6. 1982.
- EDWARDS, P.. Recycling organic wastes: Energy conservation, pollution abatement and fish production. In. **Environment and development in Asia and the Pacific. Experience and prospects**. Nairobi: United Nations Environment Programme. UNEP Reports and Proceedings, serie 6. 1982.
- EPE. (Empresa de Pesquisa Energética). Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. **Série Recursos Energéticos**. Nota Técnica DEN 06/08. Rio de Janeiro, nov. 2008.
- EPE. (Empresa de Pesquisa Energética). Balanço Energético Nacional. Ano Base 2013. Disponible en: https://ben.epe.gov.br/downloads/Síntese%20do%20Relatório%20Final%202013_Web.pdf
- EPE. (Empresa de Pesquisa Energética). Balanço Energético Nacional 2013: Ano base 2012. Rio de Janeiro: EPE, 2013.
- FLYHAMMAR, P. P. One decade of dramatic changes of the Swedish management of household waste. In. **XIII International Waste Management and Landfill Symposium**. Sardinia Symposium. Proceedings. S. Margherita di Pula: IWMLS. 3-4. 2011.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Brasileiro 2010**. Lista de Regiões Metropolitanas do Brasil por População. Rio de Janeiro: IBGE. 2012.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Projeção da População Brasileira**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/> Acesso em 02.mai.2014. 15:00 hrs.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Distribuição da População em 2000**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:ARCHELLA_E_TERRY_Img_06.png

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Distribuição da população brasileira**. Disponível em: [http://www.scp.rs.gov.br/upload/mapa_distribuição_população_absoluta_brasil_2010\(1\).gif](http://www.scp.rs.gov.br/upload/mapa_distribuição_população_absoluta_brasil_2010(1).gif) Acesso em 02.mai.2014.

NISZ, Ch. Suécia importa lixo para gerar energia. In **Yahoo Notícias**. Disponível em : <http://br.noticias.yahoo.com/blogs/vi-na-internet/su%C3%A9cia-importalixo-para-gerar-energia>. Acesso em 24.set.2012

ORTH, M. H. de A.; MOTTA, F. S. da. Características Físico-Químicas dos Resíduos Sólidos Urbanos Coletados na Região Metropolitana da Baixada Santista e Ubatuba (Litoral Norte) do Estado de São Paulo. In. **Limpeza Pública**. São Paulo: ABLP. 2º trimestre de 2013. n. 84. 28-43.

PEREIRA, R. Usina para tratar lixo produzirá eletricidade. In. A Folha de São Paulo (jornal). **São Paulo: Folha de São Paulo**. 07.jan.2011. Caderno B. 17. 2011.

PURCELL, A. H. **The waste watchers**. A citizen's handbook for conserving energy and resources. New York: Anchor Press. 1980.

RODRIGUES, V.; CARNEIRO, A.; MUDADO, C. Aproveitamento de resíduos da indústria de polpa celulósica para a produção de briquetes. In. **Jornal Biomassa BR. (s/l/p)**: FRG Mídia Brasil. Mai/jun. 2013. n. 08. 8-10.

Wikipedia. **Lista de Municípios do Brasil acima de 150.000 habitantes**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_munic%C3%ADpios_do_Brasil_acima_de_cem_mil_habitantes. Acesso em 03. mai.2014.