

**UNIVERSIDAD METROPOLITANA
ESCUELA GRADUADA DE ASUNTOS AMBIENTALES
SAN JUAN, PUERTO RICO**

**ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE PLOMO QUE PUDIERA LLEGAR AL
VERTEDERO DE CAROLINA, COMO RESULTADO DE LA DISPOSICIÓN
INADECUADA DE TELÉFONOS MÓVILES EN DESUSO DURANTE 2000 AL
2012**

Requisito parcial para la obtención del
Grado de Maestría en Ciencias en Gerencia Ambiental con Especialidad en
Evaluación y Manejo de Riesgo Ambiental

Por
Yanhira Hernández

7 de diciembre de 2007

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a los seres más importantes en mi vida, mi familia. A mi hermano, por regalarme los mejores recuerdos, los juegos de la infancia. A mis padres, por el sacrificio de toda una vida. ¡Gracias viejos! A mi esposo: Mouhktar Kotchenov, por todo tu amor y por paciencia durante este proceso. Por último, al ser que ha llegado para iluminar mi vida, a mi niña: Claudia Nicole. ¡Gracias por existir!

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer antes de todo a mi equipo de tesis de la Escuela de Asuntos Ambientales, a mi mentor el Dr. Santos Rohena. ¡Cuando yo sea grande quiero ser como usted! A la Dra. Beatriz Zayas y al Dr. Neftalí García.

Hay muchas personas que aportaron, ya sea con su conocimiento ya sea con documentación impresa, para que este trabajo finalmente se concretara. Entre estas personas, la Sra. María Sonera, Junta de Telecomunicaciones; la Sra. Lidia Rodríguez, Compañía de Parque Nacionales; la Sra. Nereida García, de la oficina de estadísticas, Junta de Planificación; la Sra. Vivian Guzmán y el Sr. Edwin Rosario, Administración de Desperdicios Sólidos; el Honorable Representante de la Comisión de Recursos Naturales, Cámara de Representantes de Puerto Rico, Sr. José Luis Rivera Guerra; Dr. Alex Savvinov, Departamento de Física, Universidad de Puerto Rico. A nivel de la empresa privada, al Ingeniero Zayas, Landfill Technologies; la Sra. Wendy Borreo y la Sra. Edna Cancel, OpenMobile; la geóloga Sra. Gloria García, J.F. & Associates, Geoscience Consultants; Juan Rosado, IFCO Recycling, al Sr. Rob Broma, Extrata Canada; Dr. Townsend, Departamento de Ingeniería, Universidad de Florida.

En especial quiero agradecer al amigo que me dio el último aliento para finalizar este proyecto, al Sr. Jeffrey Feliciano. ¡A todos, muchísimas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE APÉNDICES.....	ix
LISTADO DE ABREVIACIONES.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
Trasfondo del problema.....	1
Sustancias contenidas en los teléfonos móviles.....	2
Manejo de los desperdicios electrónicos.....	5
Marco legal.....	6
Problema de estudio.....	8
Características hidrogeológicas del vertedero de Carolina.....	10
Justificación del problema.....	12
Pregunta de estudio.....	12
Meta.....	12
Objetivos.....	13
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
Trasfondo histórico.....	14
Desperdicios electrónicos.....	16
Estudios realizados en Puerto Rico.....	17
Estudios sobre toxicidad.....	17
Exportación transfronteriza.....	20
Teléfono móvil como desperdicio sólido peligroso.....	21
Retardantes de flama.....	23
Marco legal.....	28
Legislación federal.....	28
Ley de conservación y recuperación del recurso (RCRA).....	28
Desperdicios universales.....	31
Ley integral de respuestas a emergencias, compensación y responsabilidad (CERCLA).....	33
Legislación estatal.....	34

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	35
Área de estudio.....	35
Descripción de la población.....	36
Periodo de estudio	37
Fuente de datos.....	37
Implementación de cuestionario	37
Método de análisis.....	38
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
Introducción	42
Discusión de resultados	42
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
LITERATURA CITADA.....	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Estimación anual de la población en los pueblos que comprenden en Área metropolitana de Puerto Rico.....	61
Tabla 2: Cartera de clientes de telefonía móvil en Puerto Rico 2000- 2006	62
Tabla 3: Distribución de los sistemas de relleno sanitarios en el Área Metropolitana de Puerto Rico	63
Tabla 4: Estimación de la cantidad de desperdicios sólidos que representaran los teléfonos móviles descartados durante 2000 a 2008, en el Área Metropolitana de Puerto Rico.....	64
Tabla 5: Método de manejo final para los teléfonos móviles en desuso utilizado por la población de Carolina.....	65
Tabla 6: Proyección de crecimiento de telefonía móvil hasta 2010, de mantenerse en "Status Quo".....	66
Tabla 7: Proyección de la generación del desperdicio electrónico y de plomo, durante el periodo de 2000 al 2012, en Puerto Rico, como resultado de la disposición de los teléfonos móviles en desuso	67
Tabla 8: Conocimiento general de la población del Área Metropolitana sobre la toxicidad de las sustancias contenidas en los teléfonos móviles.....	68
Tabla 9: Estimación de la actitud de la población muestreada, con relación a la recolección de los teléfonos móviles, como desperdicio sólido	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Migración de telefonía en Puerto Rico, durante los años 2000 al 2006.	71
Figura 2: Tiempo promedio que los clientes retienen sus teléfonos móviles, en el Área Metropolitana de Puerto Rico	72
Figura 3: Por ciento de la población muestreada en Carolina, que posee teléfonos móviles.....	73
Figura 4: Proporción de teléfonos móviles por familia en el Área Metropolitana.....	74
Figura 5: Número de teléfonos móviles almacenados por habitante en el Área Metropolitana, de Puerto Rico.	75
Figura 6: Promedio de tiempo que la población ha sido cliente de telefonía móvil.	76
Figura 7: Proyección para la generación del desperdicio electrónico y de plomo, como resultado de la disposición de los teléfonos móviles en desuso durante el periodo de 2000 al 2012, en Puerto Rico.....	77
Figura 8: Modo de disposición final de los teléfonos móviles utilizados por la población de Carolina.	78
Figura 9: Conocimiento general de la población del Área Metropolitana sobre la toxicidad de las sustancias contenidas en los teléfonos móviles.....	79

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1: Mapa de los pueblos que comprenden el Área Metropolitana, según Movistar	83
Apéndice 2: Mapa de localización del Sistema de Relleno de Carolina.	84
Apéndice 3: Localización de los puntos de monitoreo de las aguas subterráneas, bajo el del Sistema de Relleno de Carolina.....	86
Apéndice 4: Foto aérea del Sistema de Relleno de Carolina.....	88
Apéndice 5: Cuestionario administrado	90
Apéndice 6: Certificación de calibración de la balanza utilizada durante la recolección de datos	92

LISTA DE ABREVIATURAS

ADS	Administración de Desperdicios Sólidos
BFR	Retardante de Fuego Bromado (por sus siglas en ingles)
CERCLA	Ley Integral de Respuesta a Emergencias, Compensación y Responsabilidad (por sus siglas en ingles)
CFC	Comisión Federal de Comunicaciones
CRF	Código del Registro Federal (por sus siglas en ingles)
CRT	Tubo de Rayo Catódico (por sus siglas en ingles)
DDT	Dicloroetileno Diclorofenil (por sus siglas en ingles)
EPA	Agencia de Protección Ambiental (por sus siglas en ingles)
FCC	Comisión Federal de Telecomunicaciones (por sus siglas en inglés)
JCA	Junta de Calidad Ambiental
JP	Junta de Planificación (de Puerto Rico)
JRTC	Junta Reglamentadota de Telecomunicaciones
PBT	Draft RCRA Waste Minimization list of Persistent, and Toxic Biocumulative, Chemicals (por sus siglas en ingles)
PCB	Bifenilos Policlorinados (por sus siglas en ingles)
PMP	Regional Monitoring Program for Trace Substances
PPB	Partes por Billón
MG/L	Miligramos sobre Litros
SVTC	Silicon Valley Toxic Coalition
SWDA	Ley Sobre la Disposición de Desperdicios Sólidos (por sus siglas en ingles)
TCLP	Toxic Characteristic Leacheability Procedure, method 1311

RESUMEN

Durante los últimos años en Puerto Rico, la telefonía móvil ha crecido vertiginosamente, de 239,000 teléfonos móviles activos durante 1996, a 2,193,570 activos para 2006. Este crecimiento ha traído como consecuencia, un aumento en la generación de desperdicio sólido electrónico y por ende de las sustancias tóxicas contenidas en estos. Mediante este estudio, evaluamos como impactará el vertedero del municipio de Carolina, la disposición de los teléfonos móviles en desuso. La técnica investigativa utilizada para este estudio, fue la generación de cuestionarios y entrevistas, además, de la revisión y evaluación de datos secundarios de otros investigadores, de agencias reguladoras y compañías de telefonía móvil. Como resultado de este estudio, determinamos que: en Puerto Rico, no se manejan adecuadamente los desperdicios sólidos electrónicos. Debido a esto, pudieran estar en desuso en el municipio de Carolina, hasta 1,437,175 teléfonos móviles, pudieran eventualmente entrar al flujo de desperdicios sólidos. Estas unidades, pudieran llegar a lixiviar hasta 91,979 kg. de plomo, lo que representa un riesgo a la salud y al medio ambiente. También, mediante este estudio, se proponen alternativas de manejo para estas unidades en desuso.

ABSTRACT

For the past years in Puerto Rico, the mobile telephony has grown vertiginously. This growth has brought as consequence an increase in the generation of electronic solid waste and thereafter of the toxic substances contained in these. This communication equipment on having come at the end of there economic life, will enter the flow of solid waste, and will impact in a negative way the landfills, where they will be finally deposited. By means of this study, we evaluate how the inadequate disposition of the mobile phones not been used from the municipality of Carolina landfill will impact the environment. The investigative technique used was the generation of questionnaires and interviews, also the review and evaluation of secondary information from other investigators, from Regulatory Agencies and Mobile Phone Companies. As a result of this study, we determine that in Puerto Rico, the solid electronic waste is not manage appropriately and that could in turn led, 1,437,175 mobile phones that eventually will enter the solid waste flow from the Municipality of Carolina and could lixiviate 91,979 kg. of lead. That therefore presents a risk for the health and the environment. Besides, alternatives are proposed for the management of these units.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Trasfondo del Problema

Durante las décadas del 1950 al 1980, nuestra sociedad pasó de ser una basada en la economía agrícola a una basada en la economía industrial y desde los últimos años del Siglo XX, a una economía basada, en la parte informática. A la par con estos cambios económicos, se han dado cambios en los tipos de enseres de consumo individual y por lo tanto en las materias primas utilizadas para generarlos. De la utilización del algodón y de la madera se pasó a la utilización de los metales y más recientemente a la utilización del plástico, derivado del petróleo.

En años recientes ha aumentado el consumo de equipos electrónicos de comunicación como los son: las computadoras personales, los facsímiles, los organizadores electrónicos, reproductores de música (MP3) y los teléfonos móviles. A finales de la década de 1990, en la Estados Unidos de América (EE.UU.), 20 millones de computadoras se tornaron obsoletas (Environmental Protection Agency, 2002). Se estima que para el año 2005, 186 millones de computadoras habrán llegado a los vertederos y 130 millones de teléfonos móviles deben haber sido descartados (Fishbein, 2002). Según O'Connell 2002, es EUA la nación, que más desperdicio electrónico genera.

Los equipos electrónicos representan el 5% del flujo de los desperdicios sólidos que llegan a los vertederos en Estados Unidos (Fishbein, 2002). En la actualidad no existe en EUA, legislación específica para el manejo de los desperdicios electrónicos. Bajo la legislación federal vigente en EE.UU., los desperdicios electrónicos domésticos, no son

considerados desperdicios peligrosos. Los negocios u otras organizaciones que generan menos de 220 libras de desperdicios peligrosos, no están reglamentados por la mayoría de las leyes federales (Punckett, 2003).

En Puerto Rico, la administración del programa de manejo de los desperdicios, bajo la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA, por sus siglas en inglés), continua bajo la potestad de la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) y no ha sido delegada a la Junta de Calidad Ambiental (JCA). El proyecto de Ley del Senado de Puerto Rico, P. del S. 1057 del 18 de octubre de 2001, que proponía reglamentar, el manejo, el almacenaje y la disposición de los equipos electrónicos, facultando a la JCA y a la Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS) para manejar la implantación de las disposiciones de ley y el establecimiento de las penalidades, no fue aprobado. A consecuencia de esto, una gran cantidad de desperdicio electrónico es y será dispuesto en los vertederos en Puerto Rico, lo cual representa una amenaza al ambiente y a la salud humana. Hasta el presente (2007) en la Cámara de Representantes, están bajo consideración dos proyectos similares, estos son: P. de la C, 2955 y P. de la C. 2884. Estos regularían el manejo y disposición de equipos electrónicos y teléfonos móviles respectivamente.

Sustancias tóxicas contenidas en los teléfonos móviles

Estos equipos electrónicos, se han convertido en uno de los mayores problemas de disposición de desperdicios sólidos del siglo XXI (Punckett et al. 2002). Los teléfonos móviles, aún cuando son funcionales, son rápidamente sustituidos por versiones tecnológicas más avanzadas como por ejemplo: las que permiten acceso al Internet,

agendas personales, MP3 o el consumidor simplemente lo sustituye al obtener una mejor oferta de otra compañía proveedora de servicio de comunicación móvil. EL 24 de noviembre de 2003, fue implementada en Puerto Rico, por la comisión Federal de comunicaciones (CFC, por sus siglas en ingles), la portabilidad numérica que permite al usuario cambiar de compañía proveedora de servicio móvil, sin perder su número telefónico. Debido a esto, se espera que un gran número de teléfonos móviles sean descartados durante los próximos años, impactando el flujo de desperdicios sólidos.

Estudios han demostrado que el tiempo promedio que el consumidor en EUA, retiene su teléfono móvil es de 1.5 años, mientras que en países pobres como China, este periodo es casi el doble (Fishbein, 2002). Estos teléfonos por lo general, permanecen guardados en gavetas o desvanes, para finalmente entrar al flujo de desperdicios sólidos y ser dispuestos en vertederos o sistemas de combustión (incineradores).

En la actualidad, la telefonía móvil cada vez más accesible al consumidor. Los teléfonos móviles, son cada vez de menor costo y tamaño. El peso promedio de un teléfono móvil durante la década del 1990 era de 0.49 kg. (Fishbein, 2002), en comparación a los modelos actuales que pueden llegar a pesar solamente 0.10 kg. Esto da la impresión de que estos equipos no representan un riesgo ambiental significativo, sin embargo, los teléfonos móviles contienen un gran número de sustancias identificadas por la EPA como peligrosas, según se informa en el “*Draft RCRA Waste Minimization List of Persistent, Biocumulative, and Toxic Chemicals (PBT’s)*” (Fishbein, 2002). Cuando el teléfono móvil se encuentra en su forma íntegra, estas sustancias no representan mayor riesgo a la salud humana o al ambiente, pero al ser dispuesto de manera inapropiada al flujo de desperdicio sólido y llegar a los vertederos, estos compuestos químicos pueden

ser liberados al ambiente y contaminar las aguas subterráneas, los suelos y el aire y entrar a la cadena alimentaria mediante bioacumulación (Fishbein, 2002; Most, 2003).

Entre las sustancias peligrosas que se encuentran en los teléfonos móviles podemos mencionar: antimonio, berilio, cadmio, cobre mercurio, níquel y plomo (Fishbein, 2002; Stapp, 2002; Lincoln, 2007). El cadmio, se puede acumular en los riñones. El berilio, que está clasificado como un carcinógeno que al ser inhalado de forma prolongada a concentraciones mayores de 0.04 micro gramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) puede causar cáncer del pulmón. El mercurio, a concentraciones mayores de 1.0 mg/L puede causar daño en varios órganos incluyendo al cerebro e hígado, se bioacumula mediante la cadena alimentaria. El plomo, a concentraciones mayores 0.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ puede causar daño al sistema nervioso central y periferal. El antimonio, puede causar problemas cardiacos y de fertilidad a exposiciones mayores de 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por más de 8 horas diarias. El cobre, puede causar daño al hígado, los riñones y hasta la muerte a una concentración mayor de 1.3 mg/L en el agua de consumo. El níquel, puede causar pulmonía a una concentración mayor de 1.0 mg/ m^3 (Punckett, 2002: ATSDR, 2003).

Otros componentes que causan preocupación, son los Retardantes de Fuego Bromados (BFR). Los BRF son utilizados para elevar la temperatura de ignición de los plásticos y reducir su inflamabilidad. Los BFR pueden afectar el sistema endocrino, el desarrollo del feto y ser cancerígenos. Además, durante el proceso de combustión liberan dioxinas y benzofuranos, uno de los PBT's más peligrosos del planeta, (Lauder & Sharp, 2002). Estudios realizados en EUA, han detectado BFR en leche materna de mujeres lactantes de Estados Unidos en concentraciones 60 veces mayores que en las mujeres de la Unión Europea, donde la utilización de ciertos tipos de BFR está prohibida

(Lauder & Sharp, 2002). En Finlandia, se ha detectado BFR en los tejidos grasos en seres humanos (Saukk, 2003) y en trabajadores de plantas de reciclaje de equipos electrónicos. Los BFR, como sucede con los fenilos policlorados (PCBs), el dicloroetileno diclorofenil (DDT) y las dioxinas, se han detectado en casi todos los ecosistemas, en el polvo dentro y fuera de los hogares, en sedimentos, en los ríos, los estuarios y los océanos. Se han detectado en tejidos en ballenas, focas, aves, alces, venados, almejas, anguilas y docenas de especies de agua dulce y salada (Lauder & Sharp, 2002).

Manejo de Desperdicios Electrónicos

Existen tres métodos para manejar los desperdicios electrónicos, siendo el primero el depósito directo en vertederos y en sistemas de combustión. Según estudios realizados por la EPA, a final de la década de 1990, en los EE.UU., 3.2 millones de toneladas de desperdicios electrónico fueron depositados en vertederos (Punckett, et al., 2002). Debido a que todos los vertederos presentan filtraciones, siempre existe la posibilidad de contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneas con las sustancias contenidas en el desperdicio electrónico. Por otro lado, los desperdicios electrónicos generan dioxinas y benzofuranos, que son extremadamente tóxicos. En Puerto Rico la orden ejecutiva O-E-2001-58A, promulgada por la otrora Gobernadora, Sila Calderón, establece un orden de prioridad para las técnicas utilizadas para la disposición de los desperdicios sólidos, siendo la última alternativa la disposición en vertederos.

El reuso consiste en la utilización de equipos de segunda mano o con algunas modificaciones. Se estima que en Estados Unidos, sólo el 3% de los equipos electrónicos son procesados de esta manera. Estos equipos en ocasiones son donados a entidades benéficas o exportados a países pobres. No obstante, esto no crea una solución real al problema del desperdicio electrónico, puesto que solamente se transportan las sustancias tóxicas a productos secundarios que eventualmente serán dispuestos en vertederos en otros países, donde las leyes y los reglamentos ambientales no son tan restrictivos (Punckett, 2002).

El tercer método para el manejo de los desperdicios electrónicos es el reciclaje. Los enseres electrónicos, representan un gran recurso de recuperación de materiales. El valor de una tonelada de los metales recuperados del desperdicio electrónico en 1998 en EUA, excedió los \$3.6 millones. Además, una tonelada métrica de desperdicio electrónico, provenientes de las computadoras personales, contiene más oro que el recobrado en 17 toneladas de oro mineral (USGS, 2001). Se estima, que de cada tonelada de desperdicio sólido electrónico reciclado, se pueden recuperar hasta 425.0 gramos de oro (Buoma, 2007).

Marco legal

Desafortunadamente, no existe reglamentación específica, para la disposición de estos equipos por parte de las pequeñas empresas, ni sobre la generación doméstica; por lo que actualmente en los EUA, sólo el 11% de los desperdicios electrónicos son reciclados (Schmidt, 2002). Se estima que el 80% de los desperdicios electrónicos importados a países pobres, provienen de EUA (Punckett, 2002) país que se ha negado a

ratificar el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos, contradiciendo la justicia ambiental que ellos promulgan. Este Convenio, es un tratado internacional diseñado para reducir los movimientos de desperdicio tóxico entre las naciones y específicamente para prevenir la transferencia desde países desarrollados a otros en vías de desarrollo.

No existe a nivel federal, reglamentación que obligue a los productores de equipos electrónicos a hacerse cargo de sus equipos en desuso. Se han logrado iniciativas a este respecto, provenientes de empresas privadas. No obstante, la falta de incentivos económicos o infraestructura no ha permitido el pleno desarrollo de estas iniciativas. Por ejemplo a nivel local, la empresa Sprint, implementó en el 2003, un programa llamado “Proyecto Conéctate”. Mediante este proyecto, los clientes podían donar sus unidades en desuso, sin importar la compañía proveedora. Estos, fueron reciclados a través de la compañía ReCellular, en Michigan, EUA. El dinero recaudado, fue donado a beneficio de la Sociedad de Educación y Rehabilitación de Puerto Rico (SER). De la misma manera, Movistar (hoy OpenMobile), implementó en 2005, el programa “Sal de tu Celular Viejo y Recicla”. Mediante éste se crearon centros de acopios en escuelas, universidades, bancos y agencias de gobierno. Mediante este programa, los clientes de cualquier compañía, podían depositar sus unidades en desuso. Las mismas fueron evaluadas y se manejaban de acuerdo a su estado. Las unidades funcionales, eran donadas a entidades benéficas. Las unidades no funcionales, se vendieron a R E Solutions, en Miami, FL. para ser recicladas. Las ganancias obtenidas fueron donadas al Programa “Amigo de los Parques Nacionales”, para la adopción de la Tortuga Marina del Zoológico de Mayagüez, Bosco.

Lamentablemente, esta iniciativa solo pudo recolectar 7,000 teléfonos móviles, el 40% de las unidades proyectadas (Movistar, 2007).

En el ámbito mundial, la Unión Europea, creó la Directiva Relativa a los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (WEE por sus siglas en inglés) que hace responsable a los productores de equipos electrónicos por el manejo y disposición de estos. Sumado a esto, se creó la Directiva Relativa a la Limitación del uso de Determinadas Sustancias Peligrosas en los Equipos Electrónicos y Eléctricos (RoH's por sus siglas en inglés), la cual prohíbe la utilización de ciertas sustancias tóxicas en los equipos electrónicos. De igual manera, el Gobierno Japonés, ha sido uno de los pioneros con relación al reciclaje de desperdicio electrónico. La Ley para el Reciclaje de Aparatos Domésticos Específicos, entró en vigencia el primero de abril de 2001. Esta tiene como fin, promover la utilización efectiva de la energía y recursos, también como reducir la generación del desperdicio mediante reciclaje (Manalac, 2006).

Problema de estudio

En Puerto Rico, la telefonía móvil ha crecido de manera vertiginosa desde su aparición en 1986, bajo la Red de Celulares Telefónica (hoy Claro). De 239,000 teléfonos móviles activos durante 1996, a 2,193,570 activos para 2006 (Junta Reglamentadora de Telecomunicaciones, JRTC. 2007). Este crecimiento, a su vez, representa un aumento en la generación de desperdicio sólido electrónico. Los teléfonos móviles poseen plomo, (sustancia clasificada como peligrosa por la EPA), que bajo las condiciones normales de un sistema de relleno, pudiera lixiviar hacia las aguas subterráneas. El hecho de que en Puerto Rico, no exista reglamentación específica, para el manejo de los teléfonos móviles

en desuso, promueve la disposición y flujo de estos como desperdicios sólidos y eventualmente el llegan a los sistemas de relleno sanitario.

Según Movistar, el 60% de los clientes de telefonía móvil en Puerto Rico, se encuentran en el Área Metropolitana (Cancel (2004) Movistar, com. pers.). De esta población, el 18% representa la población del Municipio de Carolina, *Estimación anual de la población en los pueblos que comprenden en Área Metropolitana de Puerto Rico* (Tabla 1, Apéndice 1). Los desperdicios sólidos, generados por la población de Carolina, (entre los que se encuentran los desperdicios electrónicos domésticos), son depositados exclusivamente en el sistema de relleno localizado en este municipio. Según ADS, este sistema de relleno, no posee geomembranas, por ende no tiene la capacidad prevenir de la lixiviación de las aguas subterráneas bajo el mismo.

Según Ayala (2006), el lixiviado, es el líquido que percola a través de los desperdicios sólidos, en los sistemas de relleno. Este contiene partículas, iones de metales y compuestos químicos orgánicos, que son recogidos por los desperdicios. La contaminación del agua subterránea puede ocurrir cuando el lixiviado se mueve a través de los desperdicios y el suelo adyacente a estos, hasta el nivel de saturación, donde forma un frente contaminante que se mueve en dirección hacia la cual se mueven las aguas subterráneas.

Cuando se contaminan los cuerpos de agua por lixiviados que contienen iones de metales pesados, el mecanismo de bioacumulación es el que produce el problema de salud. Los efectos a la salud, no están limitados al agua que se ingiere, sino también puede ocurrir por la cadena alimentaria debido a la ingestión de otros organismos, que habitan en el ambiente contaminado. Estos, pueden acumular en sedimentos y la muerte

de organismo permite la recirculación del contaminante en el agua. Manera de ejemplo, un estudio realizado por Morales (2007), detectó plomo en los lixiviados del vertedero del pueblo de Florida, Puerto Rico, en concentraciones de hasta 0.082 mg/L. Estas concentraciones están por encima de los parámetros, establecidos por las agencias reguladoras tanto a nivel local como federal.

Este estudio tiene como propósito, estimar la cantidad de plomo que podría llegar al sistema de relleno de Carolina, como resultado de la disposición, de teléfonos móviles en desuso. Las aguas subterráneas bajo este sistema de relleno, fluyen hacia la costa del sector Piñones, en el pueblo de Loíza. En esta área geográfica, es muy común la pesca comercial, cuyo producto es consumido principalmente por los clientes de negocios para la venta de mariscos preparados, localizados en la misma región, lo que pudiera representar un riesgo tanto a la salud humana como al medio ambiente.

Características hidrogeológicas del vertedero de Carolina

Este municipio, cuenta con un sistema de relleno, en donde se depositan exclusivamente los desperdicios sólidos de este municipio. Este sistema de relleno, es uno privado, (administrado por Landfill Technologies), está comprendido por 113.68 cuerdas de terreno (446,83 m²) localizadas en el Barrio Hoyo Mulas en la carretera #874; a 8.0 Km. del Aeropuerto Internacional Luis Muñoz Marín (Apéndice 1, Apéndice 2, Apéndice 3 y Apéndice 4). Este vertedero ha estado en operación por más de 20 años, (inicialmente fue administrado por el municipio de Carolina) y recibe desperdicios no peligrosos, tanto industriales como domésticos (J. F. & Associates, 1998). Este sistema

que no posee geomembrana y presenta problemas serios de lixiviación (Torres. 2007. ADS, com. pers.).

Según el estudio Hidrogeológico preparado por J. F. & Associates, este vertedero está bordeado por varios mogotes con elevaciones de hasta 65 metros sobre el nivel del mar. Los cuerpos de agua circundantes a la instalación son: laguna de Piñones y los manglares asociados a ésta. Existen varias extensiones de canales de irrigación que pasan bajo el vertedero, especialmente al norte y al sur. La dirección del flujo del agua subterránea bajo el vertedero puede variar de noreste hacia el noroeste. El estudio, además, indica que la instalación yace bajo un plataforma terciaria de carbonato, compuesta de una formación de Aymamón (caracterizada por su naturaleza cárstica), que a su vez yace sobre una plataforma más vieja de Aguada y un depósito de sedimentos de Aluvión; que consiste de grava, arena y arcilla. Según la geóloga, Gloria García (García. 2007. J. F & Associates. com. pers.) debido a estas características, sería muy probable, de existir la presencia de plomo en el sistema de relleno, la precolación del mismo en los lixiviados, hacia las aguas subterráneas

Para esta instalación, se llevan a cabo bi-anualmente monitorías al agua subterránea bajo el sistema de relleno. Según, J. F. & Associates, (1999; 2000), los resultados para plomo del primer monitoreo de julio de 1999 promediaron 0.003 mg/L y 0.035 mg/L para el segundo monitoreo de diciembre 1999. El límite MCL (nivel máximo de contaminación) permitido por EPA, es de 0.015 mg/L para plomo. No pudimos tener acceso a los monitoreos subsiguientes, por parte de la JCA.

Justificación del problema

La generación de desperdicios electrónicos es el problema de desperdicios sólidos de más rápido crecimiento en el ámbito mundial (Punckett, 2002). Esto representa un serio problema, no sólo por la cantidad de desperdicios generados, sino también por los componentes tóxicos presentes en estos equipos. En Puerto Rico, no se regula la disposición de estas unidades de comunicación ni se ha realizado un estudio que estime la generación de plomo ni de desperdicios sólidos electrónico generado, como resultado de la disposición inadecuada de teléfonos móviles. Por lo que esto representa un riesgo para el medio ambiente y a la salud humana. Se pretende mediante este estudio, estimar la cantidad de plomo que pudiera ser depositado al sistema de relleno de Carolina. Además, de proponer alternativas de manejo, que puedan ayudar a las agencias reguladoras para la toma de dediciones para la disposición ambientalmente segura de los teléfonos móviles en desuso.

Pregunta del estudio

¿Representa el plomo contenido en los teléfonos móviles en desuso durante 2000 a 2012, que serán dispuestos en el vertedero de Carolina, un riesgo para la salud humana y el medio ambiente?

Meta

Estimar la cantidad de plomo y de desperdicios sólidos electrónico, que pudieran ser depositado al sistema de relleno de Carolina, como resultado de la disposición inadecuada de teléfonos móviles en desuso, entre 2000 a 2012.

Objetivos específicos

1. Estimar el número de teléfonos móviles en desuso almacenados por la población de Carolina, durante 2000 a 2012.
2. Estimar la cantidad de plomo, procedente de los teléfonos móviles en desuso almacenados durante 2000 a 2012, que podría ser depositado al sistema de relleno de Carolina.
3. Estimar mediante entrevista, el método de disposición utilizado por la población muestreada, como destino final de sus teléfonos móviles.
4. Proponer alternativas para el manejo de los teléfonos móviles en desuso, que pudieran evitar que estos entren al flujo de desperdicios sólidos

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Trasfondo histórico

Los teléfonos móviles, funcionan mediante la utilización de dos frecuencias, una que recibe los mensajes y otra que los transmite a través de millares de canales. El Área de cobertura de los teléfonos móviles, está dividida en secciones de forma hexagonal (células), creando una red de estaciones de retransmisión. Cuando un usuario se mueve de una célula a otra, puede utilizar la frecuencia de esta nueva célula, dejando disponible la célula anterior para otro usuario.

El concepto de la telefonía móvil surgió, cuando los Laboratorios Bell en la División de Investigación de AT&T propusieron la idea de teléfonos para las patrullas policíacas. La Compañía Motorola, fue la primera en incorporar la tecnología en equipos portátiles, diseñados para poder ser utilizados fuera de los automóviles. En 1947, AT&T propuso el concepto de la telefonía móvil a la Comisión Federal de Comunicaciones, (FCC por sus siglas en inglés), entidad responsable por el uso del espectro electromagnético, en Estados Unidos. La FCC decidió limitar el número de frecuencias a solo treinta y dos conversaciones simultáneas, lo que no representó un incentivo para la investigación y desarrollo.

Durante la década de 1960 tanto AT&T como Motorola continuaron desarrollando tecnologías de comunicación, hasta que en 1968 la FCC decidió liberar el espacio aéreo para la telefonía móvil. La primera llamada desde un teléfono móvil, fue realizada el 3 de abril de 1973, por Martín Cooper, Gerente General de la División de

Sistemas de Motorola a su rival, Joel Engel, Director del Departamento de Investigación de los Laboratorios Bell. El primer servicio comercial de telefonía móvil fue introducido en Tokio, Japón en 1979 y en Illinois, Estados Unidos en 1982, por la compañía Ameritech. En Puerto Rico la comunicación móvil comenzó en 1986. La primera compañía en el mercado en Puerto Rico, fue Telefónica Larga Distancia (TLD) (Sonera, 2004) eventualmente conocida como Verizon Wireless y más recientemente como Claro. Actualmente (2007) en Puerto Rico hay seis compañías de telefonía móvil, estas son: AT&T (antes Cingular), Centennial, OpenMobile (antes Movistar), Sprint, Claro (antes Verizon Wireless) y Sun Com.

La tecnología celular ha evolucionado con el paso del tiempo y estas tecnologías se clasifican en generaciones (G). La primera generación (1G) hizo su aparición en 1979, este fue el primer sistema de radio celular en soportar más usuarios; utiliza un sistema análogo. La 2G arribó en 1990, esta generación de teléfonos móviles es capaz de transmitir datos de voz; utilizando un sistema digital. La 2.5G es un paso intermedio entre las generaciones la 2G y la 3G, que son sistemas que provee servicios más rápidos que la 2G y algunos de los beneficios de la 3G. La generación 3G, de teléfonos móviles tiene la habilidad de transferir no solo datos de voz, sino también servicios de información (data no-voz) como acceso al Internet y servicios de entretenimiento. En un futuro próximo, es previsible que los sistemas 4G, incorporen diferentes tecnologías de transmisión, tanto para las comunicaciones móviles como para las redes locales inalámbricas y para mejorar la eficiencia.

En las últimas décadas, se ha observado un enorme crecimiento del servicio de telefonía móvil. Según Fishbein, (2002), en 1985 existían en Estados Unidos 384,000

teléfonos móviles, cifra que aumento a 128.7 millones en 2001. En el ámbito mundial, en el año 2001, estaban en servicio unos mil millones de teléfonos móviles. Se estima que para el año 2015 la mitad de la población mundial (4,000,000 de millones de personas) tendrá un teléfono móvil (CNN, 2002). Para el 2005 solo en EUA, deben haber sido descartados 130 millones de teléfonos móviles, lo que equivale a 65,000 toneladas de desperdicios sólidos (Fishbein, 2002).

Uno de los cambios más significativos en el área de las comunicaciones, durante los últimos años, ha sido la migración de la telefonía fija hacia la inalámbrica. Durante el año 2006, existían en Puerto Rico, un total de 1,139,963 líneas de telefonía fija, representando una merma de 217,588 líneas durante los pasados seis años, *Migración de la telefonía, en Puerto Rico durante los años 2001 a 2006* (Figura 1). En contraste, la telefonía móvil, a mostrado un crecimiento de 25.8 %, que representan 564,926 teléfonos móviles durante los pasados seis años (JP. 2007) Según información suministrada por la JRTC, para el año 2004 habían activos 1,847,607 teléfonos móviles y 2,193,570 para el año 2006, *Cartera de clientes de telefonía móvil en Puerto Rico 2000-2006* (Tabla 2). Además, se estima que mensualmente son activados en Puerto Rico, aproximadamente 35,000 teléfonos móviles (Movistar, 2003).

Desperdicios electrónicos

El desperdicio electrónico (*e-waste*) es el producto final de la extraordinaria revolución tecnológica de las últimas décadas. Este fenómeno, abarca una gran variedad de desecho electrónico que es generado como resultado de varios factores. Entre estos factores se encuentran: *mal funcionamiento*; en la gran mayoría de los casos, el reparar

un equipo electrónico resulta más costoso que reemplazarlo por otro nuevo; *agotamiento*, el tiempo de vida útil de los enseres electrónicos es cada vez más corto y por último, *obsolescencia*. En este capítulo, se discutirán los estudios relacionados a este tema, además de las leyes y reglamentos que regulan la disposición y manejo de estos desperdicios.

Estudios realizados en Puerto Rico

En Puerto Rico, el problema de los desperdicios electrónicos ha sido prácticamente dejado a un lado por las agencias reguladoras. El estudio, *Compubasura: Plan de reciclaje de computadoras para Puerto Rico*, estimó la cantidad de computadoras que serían descartadas en Puerto Rico. Se determinó que durante el periodo que comprende desde 1995 al 2005 habrán sido descartadas en Puerto Rico, 478,770.1 computadoras, un promedio de 47,877.10 computadoras por año (Márquez, 1998). En este estudio, se expuso el grave problema de la disposición inapropiada de computadoras personales en Puerto Rico y propuso un plan de manejo y reciclaje como una solución al mismo.

Estudios sobre toxicidad

En la actualidad, son muy pocos los estudios que se han realizado referentes a los riesgos que representan para el medio ambiente, la disposición inapropiada de los desperdicios electrónicos. Entre los estudios existentes, la mayoría son referentes a la tubos de rayos catódicos (CRTs por sus siglas en inglés) en los televisores y monitores de computadoras. El CTR, es el cristal que amplifica y enfoca el haz de electrones de alta

energía, para crear las imágenes que podemos observar en la pantalla. Un 20% de la composición de los CRTs es plomo (esto equivaldría a 4-8 lb./unidad). La cantidad de plomo presente en las computadoras que se deben haber vuelto obsoletas entre 1997 al 2004 se estima en 1.2 billones de libras (SVTC; CAW, 2004). La función principal del plomo en los CRTs es proteger al consumidor de la radiación que es emitida por estos equipos, pero irónicamente cuando los CRTs llegan a los vertederos o instalaciones de combustión, es este plomo el que representa un riesgo o al medio y a la salud humana.

En el 1999, Townsend, Musson, Jang y Chung; de la Universidad de Florida, realizaron el estudio: “*Characterization of lead leachability from cathode ray tubes using the toxicity characteristics leaching procedure*” Method 311, EPA SW-846. En este trabajo se estudiaron las características de lixiviación de las diferentes partes de los CRTs de los televisores. Para esta prueba se crearon tres categorías: CRTs manufacturados en 1988 o antes, los manufacturados entre 1989 a 1993 y los manufacturados de 1994 a 1998. Como resultado de este estudio, se determinó que de un total de 36 CRT analizados, 21 excedieron el límite de 5.0 mg/L para plomo, establecido por EPA, para la caracterización de desperdicios peligrosos. El promedio de plomo en los CRT’s obtenido por los investigadores fue de 18.5 mg/L.

Como respuesta a este estudio la EPA, clasifica los CRTs como un desperdicio peligroso. Estados como California, Maine, Massachusetts, Minnesota, y Nebraska han promulgado legislación para prohibir la disposición de los CRT’s en los vertederos e incineradores. Otros estados como Florida, a pesar de no contar con legislación específica han desarrollado planes de manejo para la recolección y la disposición final de los CRTs y otros equipos electrónicos.

En 2004, Townsend, de la Universidad de Florida, realizó el estudio: “*RCRA Toxicity characterization on computers CPUs and others discarded electronic devices*”. En esta ocasión, el Dr. Townsend junto a su equipo de investigación, analizó las características de toxicidad de varios equipos electrónicos, entre estos los teléfonos móviles. Como resultado de este estudio, se encontró que prácticamente todos los equipos electrónicos muestreados excedieron los límites de toxicidad de plomo, establecido por EPA. De los teléfonos móviles muestreados, el 75% falló la prueba de Toxicity Characteristics Leaching Procedure (TCLP); la concentración promedio de plomo detectada en los lixiviados de teléfonos móviles fue de 32.0 Mg/L. Aun así la EPA no ha clasificado los teléfonos móviles como desperdicios peligrosos.

Las fuentes industriales, principales del plomo en el ambiente son, las minería (fuente primaria) y el reciclaje de metales o baterías (fuente secundaria). Las rutas de exposición a plomo son: inhalación, contacto dermal e ingesta. El comportamiento del plomo frente al medio ambiente dependerá de la forma química en la que se presenta. El plomo metálico, no se disuelve en agua pero si se combina con otros químicos y se pueden formar compuestos o sales de plomo. En ambientes ácidos como son los sistemas de relleno, los compuestos de plomo, aumentan su movilidad y bioasimilabilidad; por lo que resulta más móviles en los lixiviados, en los sistemas de rellenos. El plomo puede llegar a suelos y aguas mediante escurrimientos y precolación. Puede permanecer adherido a las partículas de suelo por mucho tiempo y eventualmente llegar a las aguas superficiales o subterráneas y combinarse con otros compuestos, dependiendo de la acidez y temperatura de las aguas. Estos compuestos pueden llegar eventualmente, al ser humano mediante bioacumulación (ATSDR, 2007).

Exportación transfronteriza

Como ya se menciona anteriormente, la exportación transfronteriza de los desperdicios electrónicos a países pobres, es el gran secreto a voces de la industria de reciclaje de desperdicios electrónicos. En 2002, Puckett et al., publicaron el informe: *“Exporting harm: the high-tech trashing of Asia”*. En este estudio se expone el serio problema que representa a la salud humana y al ambiente general, la exportación de desperdicios electrónicos a países pobres, como China y Pakistán. Según Puckett el 80% de los desperdicios electrónicos importados en Asia, proviene de los EUA.

En pruebas de campo realizadas a las aguas, sedimentos y suelos de las Áreas en donde los desperdicios electrónicos son procesados, se detectaron concentraciones de cadmio, cobre, cromo, níquel, plata, plomo, y zinc; que excedieron los parámetros establecidos por las agencias reglamentadoras. Por ejemplo, pruebas de aguas y suelos, demostraron que la concentración de plomo es 190 veces mayor que los parámetros establecidos por la Organización Mundial de la Salud. En aldeas cercanas a los centros de reciclaje, dedicadas al cultivo de arroz se han detectado, dioxinas/huraños e hidrocarburos policíclicos aromáticos, (Wong, H. 2007). Además, se han detectado concentraciones de PBED's de hasta 2,687 ng/m³ en los músculos de tilapia (*Oreochromia. sp.*) en ríos cerca de centros de reciclaje (Luo, 2007).

Esta exportación de desperdicios electrónicos ocurre debido a dos factores que se dan en los países de exportación: primero, la falta de controles ambientales, de salud ocupacional y de la infraestructura para poder reforzar las leyes. Segundo, la mano de obra barata. Por ejemplo en China, el salario promedio de los trabajadores (entre los que se encuentran niños) en los centros de desmantelamiento de equipos electrónicos puede

ser de tan sólo \$1.50/día. Sumado a esto, los “recicladores” que exportan sus desperdicios pagan entre \$0.025-\$0.050 por cada Kilogramo de desperdicio electrónico “reciclado”, en comparación con los \$0.20 que pagarían en EUA (Rowe, 2002). Esto provoca la victimización tanto de los empleados de los centros de desmantelamiento como del medio ambiente (SVTC, 2002).

Teléfono móvil como desperdicio sólido y desperdicio sólido peligroso

Entre los pocos estudios que se han realizado referentes a la generación de teléfonos móviles como desperdicio sólido, Fishbein, de Inform, en Nueva York, realizó en 2002 el estudio “*Waste in the wireless world*”. Según Fishbein, la utilización de los teléfonos móviles en EUA, aumentó de 340,000 teléfonos móviles en servicio para 1984 a 128,000,000 en 2001 y estima que para el año 2005 habían sido descartados 130 millones de teléfonos móviles, lo que representó 65,000 toneladas de desperdicio sólido. Sumado a este hecho, según Fishbein, los teléfonos móviles contiene sustancias tóxicas que representan daño a la salud humana y al medio ambiente.

Según Fishbein, entre las sustancias tóxicas que se encuentran en estos equipos electrónicos se encuentran los siguientes:

Plomo: Según un estudio realizado por la EPA en 1998, el 80% del plomo presente en los vertederos en EUA, proviene de los equipos electrónicos. El plomo puede contaminar las aguas superficiales y subterráneas mediante percolación en los vertederos, contaminar la ropa de trabajadores, en plantas de reciclaje inadecuadamente manejadas o llegar a los hogares mediante equipos electrónicos triturados en vertederos (SVTC; CAW, 2001). Una de las mayores fuentes de plomo, provenientes de los desperdicios

electrónicos, son las soldaduras de estaño- plomo, (FWI, 2001). Aproximadamente entre 100,000 a 125,000 toneladas de soldaduras de plomo son producidos por la industria de equipos electrónicos cada año. El plomo se considera un cancerígeno, posee efectos adversos en el sistema nervioso central y endocrino, al hígado y está relacionado con anomalías en el desarrollo). Además, las personas expuestas a plomo, pueden desarrollar la enfermedad conocida como saturnismo (Rohena, 2004. Universidad Metropolitana de Puerto Rico. com. pers.)

Berilio: es utilizado en aleaciones de berilio-cobre en resortes y contactos. Este compuesto, abarca un mercado mundial de 50 millones de libras anuales, de los cuales 15 millones son utilizados en la manufactura de teléfonos móviles. El berilio, presenta un serio problema de salud en instalaciones de reciclaje y de manufactura. La exposición a berilio puede ocurrir en forma de polvo y/o particulado o al ser calentado y esparcido en el aire. Las personas expuestas pueden sufrir daño irreversible o fatal a los pulmones (Fishbein, 2002).

Arsénico: puede causar daño a los nervios, la piel, al sistema digestivo e incluso la muerte al ser ingerido en altas concentraciones. Un teléfono móvil promedio contiene cinco semiconductores con la aleación galio-arsénico, que son utilizados para reducir la estática en estos equipos de comunicación. Este compuesto no representa riesgo a la salud o al medio ambiente en su forma íntegra, pero pueden crear compuestos tóxicos durante el proceso de incineración. Según estimados, por cada 500 millones de teléfonos móviles se generan 169 libras de arsénico (Fishbein, 2002). *Cobre*: está clasificado por la EPA como un PCB. El cobre es utilizado como herbicida, alguicida y se bioacumula en organismos marinos. Es ampliamente utilizado en las pantallas de los teléfonos móviles;

este metal al combinarse con los BFR en sistemas los de combustión, pueden formar dioxinas y benzofuranos, uno de los compuestos más tóxicos del planeta (Fishbein, 2002).

Cadmio: Los compuestos de cadmio son considerados como tóxicos con posible daño irreversible a la salud humana, dado a que se bioacumula en el cuerpo, en especial en los riñones. La principal fuente de exposición a cadmio es por inhalación y mediante la cadena alimentaria, estos compuestos pueden permanecer en el medio ambiente por periodos de hasta 30 años. La presencia de cadmio en los teléfonos móviles puede ser en los semiconductores y las baterías (SVTC, 2001; CAW, 2001).

Retardantes de flama

Otro de los componentes de los equipos electrónicos que causa gran preocupación son los BFR. Se distribuyen en el ámbito mundial, 470 toneladas de BFRs (BSEF, 2000). La industria de los equipos electrónicos y eléctricos, consumen el 56 % de los BFRs producidos (Towsend; EPA, 2003.), de acuerdo con el BSEF, el 39% de los retardantes de flama son brominados, el resto están manufacturados a base de cloro, fósforo, nitrógeno u otros materiales inorgánicos. EUA, utiliza más de la mitad de los BFRs generados mundialmente (Birbaum, 2003). Esto, generó ganancias de un billón de dólares durante el 2001 con un crecimiento de 3.2% anual (EWG, 2002). La mayoría de los BFRs utilizados en EUA, son manufacturados por dos compañías: Great Lakes Chemicals Corp. en Indiana y en Albemarle Corp. en Virginia. En la actualidad no existe en EUA reglamentación concerniente a los BFRs, por su parte la Unión Europea, ha prohibido la utilización de las formas deca, octa y penta (Schmith, 2003).

Existen más de 209 congéneros de BFRs con distintas propiedades, que se clasifican de acuerdo al número de átomos de bromo en la molécula (EWG, 2002). Por ejemplo Penta-BDEs contiene cinco átomos de bromo, Octa-PDEs contiene ocho, Deca-PDEs contiene 10 átomos. Los BFRs comerciales son en realidad una mezcla de varios congéneros: Deca, Octa y Penta.

Los elementos halogenados (reaccionan con metales para formar sales), mayormente utilizados como retardantes de flama son: bromo, cloro, fluoruro y yodo. Los retardantes basados en fluoruros y yodo, no son utilizados en la actualidad debido a que estos no interfieren en el proceso de combustión. Los retardantes de flama clorinados son los mayormente utilizados en plásticos ya que proveen buena estabilidad, pero comparados con los retardantes de flama bromados, mayores cantidades son requeridas para lograr iguales resultados. Retardantes de Flama Bromados, se consideran los retardantes de flama más efectivos cuando se considera desempeño y costo efectividad.

Las diferentes clases de BFR son: Bifenilos Polibrominados (PBB), Hexabromocyclodecan (HBCD), Tetrabromobisphenol-A (TBBPA), Éteres Bifenilos Polibrominados (PBDEs) y dentro de estos: Éter Decabromodifenil (Deca-BDE), Éter Octabromodifenil (Octa-BDE) y Éter Pentabromobifenil (Panta-BDE)

En general, todos los BFRs actúan de manera similar, cuando un plástico, que es un derivado del petróleo, se incendia la larga cadena de polímeros de BFRs presente, se rompe liberando gases inflamables, que al combinarse con el oxígeno esparcen el fuego (Magnuson, 2003). Esto provee tiempo adicional al usuario para escapar en caso de algún fuego (BSEF, 2000).

Los BFRs, salvan vidas, pero son un serio problema transfronterizo global (Birnbaum, 2003). Actualmente se desconoce como los BFRs son liberados al medio ambiente, aunque se han detectado en casi todos los ambientes. Algunos investigadores entienden que la exposición humana, ocurre durante el proceso de manufactura de los equipos electrónicos (Towsend, 2003) mientras, otros mencionan que el consumo de pescado es la mayor ruta de exposición (Lunder, Sharp, 2002).

Varias investigaciones han demostrado que los BFRs pueden causar daño al sistema endocrino, además de que este compuesto se bioacumula en los tejidos grasos. En 2002, Lunder y Sharp del Environmental Working Group, llevaron a cabo en San Francisco, el estudio "*Tainted catch*". Según los autores, el consumo de pescado es la mayor ruta de exposición en adultos a los éteres bifenilos polibrominados (PBDEs) un tipo de retardante de flama. Este estudio, analizó la concentración de PBDEs, en los tejidos grasos de diez de las especies de peces de más consumo en la bahía de San Francisco. Las muestras para esta prueba fueron donadas por pescadores de San Francisco, Alameda, Berkeley, Richmond y Point Pinole.

En todas las muestras analizadas, fueron detectados siete de los PBDEs más comunes, además de, otros cuatros congéneres de PBDEs. Las concentraciones de PBDEs detectadas en las muestras variaron desde 1.0 a 62.0 partes por billón (PPB). A su vez, se determinó que estas concentraciones son de 2.4 a 3.4 veces mayores, que las detectadas en un estudio similar llevado a cabo en 1997 por el "Regional Monitoring Program for Trace Substances (PMP)". Los autores recomiendan la prohibición a la utilización de PBDEs y la rotulación de los productos que contengan PBDEs. La implementación de un programa de monitoría para identificar que químicos y las

concentraciones de estos que están acumulados en los tejidos de los seres humanos y en el medio ambiente, para poder determinar incrementos de en la concentración en la población.

Ese mismo año, el Environmental Working Group publicó el estudio: *“Study finds record high levels of toxics fire retardants in breast milk from Americans mothers”*. En este estudio, se analizó la leche materna de mujeres saludables a través de toda la nación americana, que hubiesen dado a luz su primer hijo en meses recientes. Como resultado de esta investigación, PBDEs fue detectado en todas las muestras analizadas, en concentraciones mayores que las detectadas en otros estudios realizados previamente en EUA. Más importante, aún fueron detectadas las concentraciones de PBDEs, más altas reportadas en seres humanos en el ámbito mundial. El rango de las concentraciones detectadas fue de entre 9.5 a 1,078 partes por billón (PPB) por gramo de lípido de leche, con un promedio de 159 PPB. El mayor nivel de PBDE reportado hasta ese momento en EUA, había sido 580 Mg/L en la sangre materna de una mujer en Indiana.

En congénero más consistentemente detectado fue PBDE-47, además otros seis congéneros de PDBEs. Todos estos congéneros se encuentran en las formas comerciales penta PDBE y son utilizados mayormente en la fabricación de materiales esponjosos, plásticos y equipos electrónicos.

Los fetos también se encuentran expuestos a los PBDEs. Estudios recientes evidencian que la mayoría de los químicos acumulados en altas concentraciones, en los lípidos de la madre, pueden pasar a través de la placenta e incorporarse en el cuerpo del feto. Estudios indican que los PBDEs más pequeños, con más facilidad acumulativa y más tóxicos, como los que contiene menos bromos, se mueven desde la sangre materna a

la sangre del cordón umbilical con más instalación. Estudios de laboratorio con animales relacionan la exposición a PBDEs con una variedad de efectos adversos a la salud, que incluyen daños a la hormona tiroides, daño permanente a la memoria y problemas de aprendizaje, cambios de comportamiento, decrecimiento en el conteo de esperma, malformación del feto y posibilidad de cáncer.

En 2003, Smeds y Saukko realizaron en Finlandia, el estudio "*Brominated flame retardant and phenolic endocrine disrupters in Finnish human adipose tissue*". Para este estudio, se analizaron los tejidos grasos, colectados durante la autopsia de 39 individuos. Las muestras fueron homogenizadas y procesadas mediante cromatografía de gas y espectrometría de masa. Las concentraciones detectadas fueron desde trazos hasta 71.0 ng/g de peso de lípido. La media del congénere BDE-47 detectada fue de 1.20 ng/g de lípido.

En 2001 en Indianápolis, Hites, obtuvo resultados similares sobre la prevalencia de PBDE 47. Hites, analizo la sangre del cuerpo y del cordón umbilical (que representa la sangre del feto) de 31 mujeres embarazadas, para determinar la concentración de PBDE. Como resultado de este estudio se detectaron concentraciones de PBDE de hasta 350-450 ng/g de lípido; la concentración promedio de PBDE fue de 1.0 ng/g de lípido. El congénere bufenilo bromianitado (BB-154) fue detectado consistentemente en las muestras sin que los investigadores entendieran el porque.

Otro de los asuntos que causa gran preocupación entre los profesionales relacionados en el manejo de los desperdicios electrónicos, es la generación de sustancias tóxicas que pueden ser generadas como resultados de la combustión de los desperdicios electrónicos. Por ejemplo, las dioxinas y los benzofuranos son generados cuando los

equipos electrónicos son incinerados para recuperar los metales presentes en estos. Estos tóxicos están asociados con el cáncer de estómago, páncreas e hígado, además de afectar el sistema endocrino (SVTC; CAW, 2001).

Marco legal

Legislación federal

Como se ha mencionado en varias ocasiones, no existe reglamentación específica, a nivel federal (mucho menos estatal), que regule la disposición de los desperdicios electrónicos. A continuación se presentan las leyes que de manera indirecta pudieran regular el manejo y disposición de estos desperdicios sólidos.

Ley de conservación y recuperación de recursos

La Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA por sus siglas en inglés) establece el programa integral del gobierno federal para la reglamentación de los desperdicios sólidos. Esta constituye la segunda enmienda de la Ley sobre la Disposición de Desperdicios Sólidos (SWDA, por sus siglas en inglés) de 1965. La misma fue aprobada el 21 de octubre de 1976 para atender un problema de gran magnitud en cuanto a la generación de grandes volúmenes de desperdicios municipales e industriales a través de toda la nación americana. (Rohena, 2000).

Los teléfonos móviles, aún cuando poseen sustancias en concentraciones que pueden exceder los parámetros de toxicidad establecidos por la EPA, son considerados desperdicios sólidos no peligrosos bajo RCRA. Debido a esto son regulados bajo el subtítulo D de esta Ley

Subtítulo D: desperdicios sólidos no peligrosos

El subtítulo D, aconseja a los estados sobre cómo desarrollar e implementar planes de manejo de desperdicios sólidos no peligrosos. Los planes tienen como propósito la promoción del reciclaje de los desperdicios sólidos y requerir, si fuera el caso, el cierre de los vertederos que no cumplan con los reglamentos ambientales.

Como resultados de los estudios realizados por el Dr. Timothy Townsend, en la Universidad de Florida, se han clasificado los CRTs de los televisores y monitores de computadoras como desperdicios sólidos peligrosos, por lo que estos deben ser regulados bajo el subtítulo C, de RCRA.

Subtítulo C: manejo de los desperdicios peligrosos

Este subtítulo establece el programa para el manejo de los desperdicios peligrosos de la “cuna a la sepultura”. Se subraya el objetivo de asegurar que los desperdicios sólidos peligrosos se manejen de forma adecuada para proteger la salud humana y el ambiente. Para esto la EPA, promulgo reglamentos sobre la generación, transportación, almacenamiento y disposición de los desperdicios peligrosos.

El programa bajo el Subtítulo C ha producido la mayor cantidad de reglamentos de carácter integral. Entre estos:

1. Se identifican, en primer lugar aquellos desperdicios sólidos que son peligrosos de acuerdo a cuatro características, (inflamabilidad, corrosividad, reactividad, toxicidad).
2. Se establecen varios requisitos administrativos para las tres categorías de manejadores de desperdicios peligrosos: generadores, transportadores y dueños u operadores de instalaciones de tratamientos y almacenamiento o disposición.

3. Se establecen estándares técnicos para el diseño y la operación de instalaciones orientadas al tratamiento, almacenamiento y disposición de desperdicios sólidos.

4. Se establece un programa regulador del proceso de permisos y es a través de éste que la EPA aplica los estándares técnicos.

Si la cantidad total de desperdicios peligrosos generados en un mes excede de 1,000 Kg. el generador es considerado un generador de desperdicio peligroso grande, sujeto a muchas de las estrictas regulaciones bajo RCRA. Si el total generado en un mes esta entre 100-1,000 Kg., el generador es considerado un generador de desperdicio peligroso pequeño y esta sujeto a las mismas restricciones que los generadores grandes, pero con algunas reducciones en cuanto al manejo y archivo de documentos.

Una de las diferencias importantes entre el subtítulo C y el D radica en el tipo de desperdicio que reglamentan. El primero solamente reglamenta desperdicios peligrosos y una sub-división de los desperdicios sólidos. En el Subtítulo D, en cambio, se regula primordialmente desperdicios no peligrosos.

Además, a estas reglamentaciones en marzo de 1992, la Organización para el Desarrollo y Cooperación Económica (OECD por sus siglas en inglés), adoptó el Control de Movimientos Transfronterizos de los Desperdicios Destinados a Operaciones de Recuperación, (la Decisión OECD). Para poder implementarlo legalmente en EUA, la EPA, se vio obligada a modificar ciertas regulaciones bajo RCRA. Como resultado de los requerimientos de OECD, se implementaron los requerimientos bajo el CRF 262 subparte H. A parte de los requerimientos de la Convención OECD, EUA impone

requerimientos de exportaciones e importaciones de desperdicios peligrosos desde y hacia otros países, estos están regulados bajo los sub-partes E y F (EPA, 2000).

Desperdicios universales

Bajo la Ley RCRA, están regulados los desperdicios universales. Los desperdicios universales son desperdicios peligrosos que son más comunes y representan menos riesgo a la salud humana y al medio ambiente que el resto de los desperdicios peligrosos. Evidencia demuestra que, los químicos peligrosos, que percolan a través de los vertederos provienen de la disposición de desperdicios domésticos (Slack, 2005). El desperdicio tiene que ser considerado peligroso y cumplir con ciertos criterios antes de ser considerado como un desperdicio universal. Los desperdicios universales deben encontrarse en el medio ambiente de manera extendida y en volúmenes abundantes, exhibir niveles de toxicidad bajos y ser fácilmente manejables. Estos desperdicios son generados por la ciudadanía en general y no solamente por las industrias como sucede con el resto de los desperdicios peligrosos. Bajo las reglamentaciones federales se pueden identificar los desperdicios universales y se proveen reglas sencillas para el manejo, reciclaje y disposición de estos desperdicios.

Mediante esta reglamentación, se regula la disposición de baterías que contengan: plata, mercurio, ácido de plomo y aleaciones de níquel-cadmio, como las que actualmente son utilizadas en los teléfonos móviles. La EPA, estimo que el 75% del cadmio presente en el flujo de desperdicio sólido en EUA para 1995, provino de baterías de níquel-cadmio (EPA, 2002). Según el 40 CRF parte 273.9 (definición de una batería considerada desperdicio universal), el significado de una batería es: un equipo que contenga una o

más celdas electroquímicas que haya sido diseñado para recibir, almacenar y emitir energía eléctrica. Una celda electroquímica es un sistema que consiste de un ánodo, un cátodo y un electrolito, además de las conexiones necesarias para emitir y recibir la energía eléctrica. El término batería también incluye una batería intacta (que no este rota), de la cual el electrodo ha sido removido.

Según, Most (2003), durante la década de 1990, las baterías más comúnmente utilizadas fueron las de aleaciones níquel-cadmio (Ni-Cd). Cadmio, es un PBT y un carcinógeno humano probable, puede causar daño a los riñones, hígado y pulmones. Debido a su toxicidad, el cadmio ha sido vedado de los productos electrónicos bajo la directiva RoHS, en la Unión Europea. La baterías de aleaciones Litio y Níquel han aumentado, en sustitución de las que contienen cadmio, aun así estas contienen cobalto, zinc y cobre, todos estos metales pesados que pueden ser tóxicos a plantas, animales y a los seres humanos.

A diferencia del resto de los desperdicios peligrosos, los desperdicios universales conllevan un manejo menos riguroso que no requiere, (a menos que sean generados en cantidades mayores de 82.kg.), la utilización de un manifiesto. Desafortunadamente, la reglamentación de los desperdicios universales aplica a generadores de pequeñas cantidades (los que generan menos de 227 Kilogramos de desperdicio universal anuales) y a generadores de grandes cantidades (los que generan más de 227 Kilogramos de desperdicios universales anuales).

El desperdicio universal doméstico, no está regulado por lo que el ciudadano particular puede, bajo este reglamento, disponer directamente las baterías de cadmio de los teléfonos móviles (lo que por lo general incluye también la unidad de teléfono móvil)

directamente al zafacón de su hogares. Los desperdicios universales, pueden ser dispuestos sin la necesidad de un contenedor para desperdicios peligrosos y pueden ser transportados de manera domestica (Gross, 2001).

Ley integral de respuesta a emergencias, compensación y responsabilidad (CERCLA)

La Ley Integral de Respuesta a Emergencias, Compensación y Responsabilidad (CERCLA por sus siglas en inglés), comúnmente conocida como Superfondo, fue promulgada por el Congreso de Estados Unidos, en diciembre de 1980. Esta ley, crea un impuesto sobre las industrias químicas y petroleras que va directamente a un fondo fiduciario. Este fondo es utilizado para la limpieza de lugares abandonados contaminados con sustancias peligrosas o en respuestas de emergencias a sustancias peligrosas liberadas al medio ambiente. Mediante esta Ley, la EPA tiene el poder de responsabilizar a las partes involucradas y asegura la cooperación de las mismas durante las operaciones de limpieza. Además, mediante CERCLA, la EPA recupera los costos financieros incurridos, una vez la limpieza es completada.

Mediante CERCLA se:

1. establecen prohibiciones y requerimientos concernientes a lugares abandonados o cerrados, contaminados con sustancias peligrosas.
2. responsabiliza a las partes por la liberación de sustancias peligrosas.
3. establece un fondo fiduciario para costear la limpieza cuando las partes responsables no pueden ser identificadas.

La Ley CERCLA, fue posteriormente modificada y ampliada en 1986, mediante la aprobación del Congreso, de la Ley de Enmienda y Reautorización del Superfondo (SARA por sus siglas en ingles) (EPA, 1998).

Legislación estatal

A nivel estatal, no existe legislación que regule la disposición de desperdicio electrónico. Bajo la administración de la otrora Gobernadora, Sila María Calderón, se creó la propuesta de Ley del Senado de Puerto Rico, P. del S. 1057 del 18 de octubre de 2001, que proponía la reglamentación, manejo, almacenaje y disposición de los equipos electrónicos. Esta ley, facultaría a la JCA y a la Autoridad de Desperdicios Sólidos (ADS) para implantar las disposiciones de ley y establecer penalidades. Desafortunadamente esta no fue aprobada por el Senado de Puerto Rico, aduciendo que no existía en Puerto Rico la infraestructura necesaria para el manejo de estos equipos. En la actualidad, están bajo consideración del Senado de Puerto Rico, las propuestas: P. de la C 2995 Para establecer la Ley de Reciclaje y Disposición de Equipos Electrónicos de Puerto Rico y P de la C. 2884 para establecer la “Ley para el Reciclaje y Disposición Apropiaada de Equipos Celulares.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

Este trabajo se enfocó especialmente en la disposición de los teléfonos móviles, en desuso al sistema de relleno de Carolina. Lamentablemente, no existe en la isla un modelo de manejo o disposición que pueda disminuir la cantidad de teléfonos móviles que llegan a nuestros vertederos. Según la JRTC, para el año 2006 habían activos en Puerto Rico 2,193,570 teléfonos móviles, cifra que se espera continúe aumentando dramáticamente, durante los próximos años.

Área de estudio

Estudios de mercadeo de las compañías de telefonía móvil locales, indican que el 60% de los usuarios de teléfonos móviles, se encuentran en el Área Metropolitana de Puerto Rico, que comprende los pueblos de Bayamón, Cataño, Carolina, Guaynabo, Trujillo Alto y San Juan (Cancel, 2003 Movistar, com. pers). Los desperdicios procedentes de estos pueblos, son depositados en los vertederos de: Carolina, Guaynabo, Humacao, Juncos y Toa Baja; *Distribución de los vertederos en el Área Metropolitana de Puerto Rico (Tabla 3)*. De estos pueblos, la población del Municipio de Carolina representa el 18% del total de la población, *Estimación de la población que comprenden al Área Metropolitana de Puerto Rico (Tabla 1)*.

Mediante este trabajo investigativo, estimamos mediante cuestionario, como la población del municipio de Carolina, dispone de sus teléfonos móviles en desuso y de esta manera evaluamos el impacto de estos equipos, en el sistema de relleno de Carolina.

Para esto, recopilamos datos que fueron utilizados posteriormente para cuantificar las variables de interés. Estas fueron:

1 Estimar el número de teléfonos móviles en desuso, almacenados por la población de Carolina, durante el periodo de 2000 a 2006.

2 Estimar la cantidad de plomo, procedente de los teléfonos móviles en desuso durante 2000 a 2012, que podría ser depositado al sistema de relleno de Carolina.

3 Estimar mediante entrevista, el método de disposición utilizado por la población muestreada, como destino final de sus teléfonos móviles.

4. Proponer alternativas para el manejo de los teléfonos móviles en desuso, para evitar que estos entren al flujo de desperdicios sólidos.

La técnica investigativa utilizada durante este estudio fue la aplicación de un cuestionario (Apéndice 5) y entrevistas; el análisis de datos secundarios sobre la generación de desperdicio electrónico.

Descripción de la población

Para fines de este estudio, muestreamos una población de 100 personas, entre los pueblos que comprenden el Área Metropolitana de Puerto Rico: Bayamón, Carolina, Cataño, Guaynabo, San Juan y Trujillo Alto. Las muestras fueron colectadas en: el centro comercial Plaza las Américas (San Juan), la Universidad Metropolitana de Puerto Rico (San Juan), la Estación de Autobuses (Bayamón), en el centro comercial San Patricio Plaza (Guaynabo), el centro comercial Plaza Carolina (Carolina), el Supermercado Grande (Trujillo Alto) y la Plaza del Mercado (Cataño).

Periodo de estudio

La recopilación de datos para este estudio la llevamos a cabo durante el mes de abril de 2004.

Fuente de datos

Analizamos los datos, obtenidos mediante cuestionario, datos obtenidos de las compañías de telefonía móvil en Puerto Rico y de Agencias Reglamentadoras como: la Administración de Desperdicios Sólidos (ADS), Junta de Calidad Ambiental (JCA), la Junta de Planificación (JP) y la Junta Reglamentadora de Telecomunicaciones (JRT). Además, de publicaciones científicas de la Universidad de Florida para la Agencia de Protección Ambiental. Como resultado de este trabajo investigativo, pudimos cumplir con los objetivos establecidos, estos se discuten en el Capítulo IV: Resultados y Discusión.

Implementación de cuestionario

Para poder obtener los datos sobre cómo la población muestreada maneja sus teléfonos móviles en desuso, suministramos un cuestionario. Además, se obtuvo el peso promedio de los teléfonos móviles activos para el año 2004, durante la entrevista a la población de interés, mediante la utilización de una balanza calibrada (Apéndice 6). El peso promedio de los teléfonos móviles activos para el 2006 se obtuvo a través de los datos técnicos, de los 10 modelos de teléfonos móviles más vendidos en Puerto Rico, durante el año 2006. También, estimamos el peso promedio de los teléfonos móviles en desuso, esta data se obtuvo a través de estudios previos.

Método de análisis

Objetivo 1: *Estimar el número de teléfonos móviles en desuso almacenados por la población de Carolina, durante el periodo de 2000 a 2006.*

Con el propósito de estimar la cantidad de teléfonos móviles activos en Carolina durante los años 2004 y 2006, además de la cantidad de desperdicio sólido que estos teléfonos móviles representarían al ser dispuestos al flujo de desperdicio sólido, se generaron las siguientes fórmulas:

Fórmula: #1

$$\begin{array}{ccccccc} \text{número de los teléfonos} & & \text{por ciento de los} & & \text{por ciento de} & & \text{número promedio de} \\ \text{móviles activos durante} & \text{X} & \text{subscriptores en} & \text{X} & \text{la población} & = & \text{los teléfonos} \\ \text{el 2004} & & \text{el Área Metropolitana} & & \text{en Carolina} & & \text{móviles activos} \\ (60\%) & & (18\%) & & & & \text{en Carolina en 2004} \end{array}$$

Fórmula: #2

$$\begin{array}{ccccccc} \text{número promedio de} & & \text{peso promedio} & & \text{masa promedio de} & & \\ \text{los teléfonos} & \text{X} & \text{los teléfonos} & & \text{los teléfonos móviles} & = & \\ \text{móviles activos} & & \text{móviles activos en} & & \text{activos en Carolina en 2004} & & \\ \text{en Carolina en 2004} & & \text{Carolina en 2004} & & & & \end{array}$$

Fórmula: #3

$$\begin{array}{ccccccc} \text{número de los teléfonos} & & \text{por ciento de los} & & \text{por ciento de} & & \text{número promedio de} \\ \text{móviles activos durante} & \text{X} & \text{subscriptores en} & \text{X} & \text{la población} & = & \text{los teléfonos} \\ \text{el 2006} & & \text{el Área Metropolitana} & & \text{en Carolina} & & \text{móviles activos} \\ (60\%) & & (18\%) & & \text{en Carolina en 2006} & & \end{array}$$

Fórmula: #4

$$\begin{array}{ccccccc} \text{número promedio de} & & \text{peso promedio de} & & \text{masa promedio de los} & & \\ \text{los teléfonos} & \text{X} & \text{los teléfonos móviles} & & \text{teléfonos móviles activos en} & = & \\ \text{móviles activos} & & \text{activos en Carolina} & & \text{Carolina en 2006} & & \\ \text{en Carolina en 2006} & & \text{en 2006} & & & & \end{array}$$

Además, estimamos la cantidad de teléfonos y de desperdicio sólido electrónico, que los teléfonos móviles almacenados por los subscriptores en Carolina, representan. Para esto utilizamos la data obtenida mediante este estudio proveniente de una compañía

de telefonía móvil local y de la EPA, que indica el por ciento de la población que posee teléfonos móviles. Para esto utilizamos las siguientes fórmulas:

Fórmula: #5

$$\begin{array}{ccccccc} \text{número de} & & \text{por ciento de} & & \text{número de} & = & \text{número promedio de} \\ \text{teléfonos móviles} & \times & \text{subscriptores} & \times & \text{teléfonos} & & \text{teléfonos móviles} \\ \text{Activos (2004)} & & \text{en Carolina} & & \text{almacenados} & & \text{almacenados en 2004,} \\ & & & & \text{por cliente} & & \text{por la población} \\ & & & & & & \text{de Carolina} \end{array}$$

Fórmula #6:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{número promedio de} & & \text{masa promedio de} & & \text{masa de desperdicio} \\ \text{teléfonos móviles} & \times & \text{los teléfonos móviles} & = & \text{sólido, que representan} \\ \text{almacenados en 2004} & & \text{almacenados} & & \text{los teléfonos móviles} \\ \text{en Carolina} & & \text{en Carolina} & & \text{almacenados en Carolina} \end{array}$$

Para determinar la cantidad de teléfonos móviles en desuso y la masa de desperdicio sólido electrónico que representaron tanto los teléfonos móviles activos como los teléfonos móviles almacenados, en el Área de Carolina, se utilizaron las siguientes fórmulas:

Fórmula: #7

$$\begin{array}{ccccccc} \text{número estimado de} & & \text{número estimado de} & & \text{número estimado} & = & \text{número estimado} \\ \text{los teléfonos móviles} & + & \text{los teléfonos} & + & \text{de teléfonos} & & \text{de teléfonos} \\ \text{almacenados} & & \text{móviles activos} & & \text{móviles activos} & & \text{móviles, en desuso en} \\ \text{Carolina desde} & & \text{en Carolina} & & \text{en Carolina} & & \text{Carolina (2000-2008)} \\ \text{2000 a 2004} & & \text{para 2004} & & \text{2006} & & \end{array}$$

Fórmula: #8

$$\begin{array}{ccccccc} \text{peso estimado de} & & \text{peso estimado de} & & \text{peso estimado} & = & \text{peso estimado} \\ \text{los teléfonos móviles} & + & \text{los teléfonos móviles} & + & \text{de teléfonos móviles} & & \text{de teléfonos} \\ \text{almacenados} & & \text{activos en} & & \text{activos en} & & \text{móviles, en desuso} \\ \text{Carolina (2000-2004)} & & \text{Carolina (2004)} & & \text{Carolina (2006)} & & \text{en Carolina (2000-2008)} \end{array}$$

Un estudio realizado por la revista *Inform* de Nueva York, en conjunto con la EPA, determinó que el tiempo promedio que un consumidor en EUA retiene su unidad antes de cambiarla es de 1.5 años. Mediante este estudio, estimamos el periodo de tiempo, durante el cual la población muestreada, retiene sus teléfonos móviles y como

estos disponen de ellos al final de su vida útil. Los datos se discutirán en el capítulo *IV: Resultados*.

Objetivo 2: *Estimar la cantidad de plomo, procedente de los teléfonos móviles en desuso, que podría llegar al sistema de relleno de Carolina.*

Como mencionamos anteriormente, los teléfonos móviles contienen sustancias que exceden los límites de toxicidad establecidos por la EPA. Entre estas sustancias se encuentra el plomo. Sustancia para la cual, la EPA estableció un límite de toxicidad en lixiviados de 5.0 mg/L. Un estudio realizado en 2004 en la Universidad de Florida para la EPA, promedió la concentración de plomo procedente de los lixiviados de teléfonos móviles en 64.0 mg. Para este estudio, estimamos la cantidad de este químico presente en los teléfonos móviles, que eventualmente pudieran llegar al vertedero de Carolina. Utilizamos la siguiente fórmula:

Fórmula: #9

$$\begin{array}{rcccl} \text{número de teléfonos} & & & & \text{masa estimada de} \\ \text{en desuso en} & \text{X} & \text{promedio del plomo} & = & \text{plomo en lixiviados} \\ \text{Carolina} & & \text{en lixiviados de los} & & \text{(mg)} \\ & & \text{teléfonos móviles} & & \\ & & \text{(64 mg)} & & \end{array}$$

Objetivo 3: *Estimar el método de disposición utilizado por la población muestreada, como destino final de sus teléfonos móviles.*

Para cumplir con este objetivo específico, durante la entrevista se preguntó a la población monitoreada, cual es el método de disposición final que utilizan para sus unidades en desuso. Estos datos se discuten en el *Capítulo IV: Resultados y Discusión*.

Objetivo 4: *Proponer alternativas para el manejo de los teléfonos móviles en desuso, para evitar que estos entren al flujo de desperdicios sólidos.*

Como resultado de esta investigación, proponemos alternativas de manejo para las unidades en desuso. Las mismas son discutidas en el Capítulo V: Conclusiones Recomendaciones.

Mediante este estudio se intenta tener una idea general, sobre la magnitud del problema de la generación de desperdicio sólido electrónico, resultante de la disposición inadecuada de los teléfonos móviles en desuso al sistema de relleno de Carolina, en donde eventualmente serán dispuestos

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Puerto Rico el vertiginoso crecimiento de la telefonía móvil, ha traído como consecuencia un aumento en la generación de desperdicio sólido electrónico, resultado de la inadecuada disposición de estos equipos. Los teléfonos móviles contienen sustancias que exceden los límites de toxicidad, establecidos por la EPA; ente estos se encuentra el plomo. Según un estudio realizado para la EPA, como resultado de la prueba TLCP para teléfonos móviles, el promedio de lixiviación para plomo fue de 32.0 Mg/L, el máximo de toxicidad para plomo, establecido por EPA es de 5.0 Mg/L.

Discusión de resultados

Para este estudio, muestreamos la población del área geográfica de Carolina, puesto que este municipio deposita los desperdicios sólidos exclusivamente en el Sistema de Relleno. Como resultado de este trabajo, estimamos la cantidad de plomo que pudiera llegar al Sistema de Relleno de Carolina, producto de la disposición inadecuada de los teléfonos móviles en desuso, almacenados durante los años 2000 al 2012. Determinamos que estas concentraciones representan un riesgo a la salud humana y al medio ambiente. Para esto se evaluaron los siguientes objetivos específicos:

Objetivo 1: Estimar el número de teléfonos móviles en desuso almacenados por la población de Carolina.

El mercado de la telefonía móvil ha crecido dramáticamente en Puerto Rico. Desde sus inicios en la isla, la telefonía móvil ha mantenido un crecimiento ascendente.

La penetración mide los subscriptores como por ciento de la población total. La penetración de telefonía móvil en Puerto Rico, durante el 2004 fue de 35%. Las compañías de telefonía móvil en la isla confían en que la telefonía móvil sustituirá la telefonía fija, por lo que las proyecciones para los próximos años son de un 75% de penetración, lo que podría llegar a representar hasta 3.0 millones de teléfonos móviles activos (Movistar, 2003).

Uno de los cambios más significativos de las telecomunicaciones durante los últimos años, ha sido la migración de la telefonía fija hacia telefonía móvil; ya que la cantidad de las primeras se ha reducido, en contraste con los teléfonos móviles, que para el 2006 alcanzaban 2,193,570 unidades. En 2006, en la isla existían un total de 1,399,683 líneas telefónicas, representando una merma de 19.08% en los últimos seis años. Así mismo, durante el año 2006, habían activos 2,193,570 teléfonos móviles, un crecimiento de 25.75%, *Migración de telefonía en Puerto Rico, durante los años 2000 al 2006* (Figura 1).

Este crecimiento del mercado de la telefonía móvil, ha traído como consecuencia un aumento en la generación de desperdicio sólido electrónico. Basándonos en la cartera de teléfonos móviles en Puerto Rico, para los años comprendidos entre el 2000 al 2006, el total de los teléfonos móviles activos durante el 2004 fue de 1,847,697 unidades, *Cartera de telefonía móvil años 2000 al 2006* (Tabla 2). A través de este estudio, determinamos que el periodo promedio de tiempo que un cliente retiene su teléfono móvil en Carolina, es de 2.0 años, *Tiempo promedio que los clientes retienen sus teléfonos móviles, en el Área Metropolitana de Puerto Rico* (Figura 2) y que el peso promedio de los teléfonos móviles activos en Carolina, para los años 2004 y 2006 fue de

0.10 kg. Con estos datos, mediante la fórmula 1, estimamos que la cantidad de teléfonos activos en Carolina en 2004, habrá sido de 199,551 teléfonos móviles, *Estimación de la cantidad de desperdicios sólidos que representaran los teléfonos móviles en desuso durante 2000 a 2008, en el Área metropolitana de Puerto Rico* (Tabla 4). Igualmente, mediante la Fórmula 2 estimamos, que la masa de desperdicio sólido electrónico, que será generado como resultado de la disposición inapropiada de estos equipos de comunicación, activos durante el año 2004, podría equivaler de 19,955 kg. (19.95 toneladas métricas).

Estimamos que la población muestreada, retiene en sus hogares 2.0 teléfonos móviles, durante un periodo que comprende 3.6 años. Como resultado de este estudio, estimamos que en 2004 el 93% de la población muestreada, poseyó un teléfono móvil y que hubo en promedio 3.6 teléfonos móviles por familia en Carolina, *Por ciento de la población muestreada en Carolina, que posee teléfonos móviles*, (Figura 3); *Proporción de teléfonos móviles por familia en el Área Metropolitana* (Figura 4). A consecuencia de la carencia de legislación y de un sistema de recolección y manejo de teléfonos móviles adecuado, la población muestreada conservó en sus hogares 2.0 teléfonos móviles y el promedio de la población muestreada, fue cliente de telefonía móvil durante aproximadamente 3.6 años, *Método de manejo final para los teléfonos móviles en desuso utilizado por la población del Área Metropolitana de Puerto Rico* (Tabla-5), *Número de teléfonos móviles almacenados por habitante en el Área Metropolitana, de Puerto Rico*. (Figura-5), *Promedio de tiempo que la población ha sido cliente de telefonía móvil* (Figura 6).

De la misma forma, estimamos que la población muestreada, retiene sus unidades por dos años. Debido a esto, estimamos que los teléfonos móviles activos para 2004 deben haber sido descartados durante 2006. Así mismo, los activos en 2006, serán eventualmente descartados en 2008. Utilizamos las fórmulas 3 y 4 para estimar el número de teléfonos activos en Carolina para 2006 en 236,906 lo que representa 23,691 kg. (23.69 toneladas métricas) de desperdicio sólido electrónico. Mediante las fórmulas 5 y 6, se estimo la cantidad de teléfonos móviles almacenados por la población de Carolina, desde el año 2004 hasta el año 2006 en 199,551 y que esto representara 19,955 Kg. (19.95 toneladas métricas) de desperdicio sólido electrónico. Igualmente, mediante las fórmulas 7 y 8, se estimo que los 399,103 teléfonos en desuso almacenados durante los años 2000 al 2004 representaran 195,560 kg. (195.56 toneladas métricas) de desperdicio sólido electrónico. De acuerdo al a fórmula 8, la masa total de desperdicio sólido electrónico, generado como resultado de la disposición de teléfonos móviles en desuso, en Puerto Rico, durante el periodo de 2000 a 2008 será de 2,214,870 kg. (2,214 toneladas métricas) y 239,206 kg. (239.20 toneladas métricas) en Carolina, solamente.

Mediante extrapolación de los datos, sobre la cartera de telefonía móvil, en Puerto Rico hasta 2006, estimamos que de mantenerse en Puerto Rico, la tendencia en el crecimiento de la telefonía móvil y el “status quo” en cuanto al manejo de desperdicios sólidos, para el año 2010, habrán activos en la isla, 2,996,527 teléfonos móviles, *Proyección para la generación del desperdicio electrónico y de plomo, como resultado de la disposición de los teléfonos móviles en desuso durante el periodo de 2000 al 2012, en Puerto Rico.* (Tabla 6 y Figura 7). Esto representaría 13,307,175 teléfonos móviles en desuso para Puerto Rico, desde 2000 al 2012, que a su vez representaran 2,771 toneladas

métricas de desperdicio electrónico. A nivel del municipio de Carolina, equivaldría a 1,437,174 teléfonos en desuso y 299.36 toneladas métricas de desperdicio electrónico, *Proyección de la generación del desperdicio electrónico y de plomo, durante el periodo de 2000 al 2012, en Puerto Rico, como resultado de la disposición de los teléfonos móviles en desuso* (Tabla 7).

En Puerto Rico se subscriben mensualmente 35,000 nuevos clientes de telefonía móvil. Debido a la alta competencia entre las compañías de telefonía móvil en la isla y a la portabilidad numérica implementada en Puerto Rico para 2003, existe entre los suscriptores un constante cambio de compañía proveedora de servicio. Generalmente al aceptar un contrato, el cliente recibe una nueva unidad, esto sumado a los teléfonos ya existentes representan una mayor generación de desperdicio electrónico. Estimamos en 45,360 el número de unidades de nueva activación en Carolina, anualmente. Esto suma 4,536 kg. de desperdicio sólido electrónico y 1.6 kg. de plomo, que llegaran al Sistema de Relleno anualmente, como consecuencia de estos constantes cambios de compañía proveedora de servicio.

Objetivo 2: Estimar el método de disposición utilizado por la población muestreada, como destino final de sus teléfonos móviles en desuso.

Mediante los datos obtenidos en esta investigación, estimamos cómo la población muestreada, maneja sus teléfonos móviles, en desuso. Estimamos que del total de los teléfonos en desuso, durante 2000 al 2012 almacenados por la población de Carolina: 54% llegará directamente al flujo de desperdicios sólidos, lo que representa 161.65 toneladas métricas de desperdicio sólido electrónico, el 23% que representa 68.85

toneladas métricas de desperdicio electrónico, permanecerán almacenados en los hogares de los subscriptores y el restante 23%, equivalente igualmente a 65.85 toneladas métricas de desperdicio electrónico, serán donados a terceras personas. Se determino, que ningún sector de la población muestreada, indico que sus unidades fuesen llevadas a centros de reciclajes para su disposición adecuada, *Modo de disposición final de los teléfonos móviles utilizados por la población de Carolina* (Figura 8). Aunque solamente el 23% de la población, indica que deposita sus unidades directamente al flujo de desperdicios sólidos, ante la falta de un sistema de recolección adecuado, se entiende que es será el destino final de estas unidades.

Objetivo 3: Estimar la cantidad de plomo, procedente de los teléfonos móviles en desuso, durante 2000 a 2012 que podría llegar al sistema de relleno de Carolina.

Los teléfonos móviles, poseen sustancias que representan riesgo a la salud humana y al medio ambiente. Es de especial preocupación la lixiviación de plomo en los sistemas de relleno, resultante de la disposición inadecuada de teléfonos móviles. Mediante la fórmula 9, se estimo que los teléfonos móviles en desuso almacenados desde 2000 a 2012 en el Área de Carolina, pudieran lixiviar 91,979 kg. de plomo. A consecuencia de esto y dadas las características hidrogeológicas del Sistema de relleno de Carolina, puede ocurrir contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, poniendo en riesgo la salud humana y el medio ambiente en general.

Objetivo 4: Proponer alternativas para el manejo y de los teléfonos móviles en desuso, para evitar que estos entren al flujo de desperdicios sólidos.

En Puerto Rico, no se maneja adecuadamente la disposición de desperdicio electrónico. Actualmente (2007) en Puerto Rico hay registradas en ADS, cuatro empresas dedicadas al manejo y disposición de equipos electrónicos, estas son: Caribbean Hi-Tech Recyclers localizado en Guánica, Evirotronics en San Juan, Nova Terra en Arecibo y R-4 Enterprises en Guaynabo; (ADS, 2007b). Sin embargo estas compañías no reciclan el desperdicio electrónico, sino que lo exportan a países como China y Republica Dominicana (CRPR; Rosado; Ruiz, 2007) esto, como se menciona antes, solo traslada el problema fuera de la isla, y no crea una solución real al problema de la disposición del desperdicio electrónico.

Sumado a esto, no existe a nivel estatal, ninguna legislación que regule el manejo y la disposición ambientalmente segura, de los teléfonos móviles al final de su vida económica. Como una iniciativa del gobierno de Sila María Calderón, se propuso una ley que regularía el manejo y disposición de los desperdicios electrónicos en Puerto Rico, pero esta no fue aprobada por el Senado de Puerto Rico, debido a que se entendía que no existía en aquel momento, la infraestructura necesaria, para ello. Sumado a esto, la legislación federal aplicable al manejo y disposición de los desperdicios electrónicos y universales (que incluyen las baterías de los teléfonos móviles), no aplica a la disposición doméstica de teléfonos móviles.

Se encuentra en este momento, bajo consideración del Senado de Puerto Rico dos propuestas de la Comisión de Recursos Naturales y Ambientales. Estas son: la P.C. 2955 para establecer la Ley de Reciclaje y disposición de Equipos Electrónicos y la P.C. 2884 para crear la Ley para Reglamentar el Reciclaje y la Disposición de teléfonos móviles.

Sin embargo, la prioridad para comisión de Asuntos Ambientales son, el plástico y el vidrio (Representante Guerra (2007), Senado de Puerto Rico, com. pers.)

Existe un desconocimiento general en la población muestreada en cuanto al impacto que los desperdicios electrónicos pueden representar a la salud humana y al medio ambiente. Mediante esta investigación, determinamos que solamente el 49.9 % de la población muestreada, indica tener conocimiento referente al riesgo a la salud humana, que los teléfonos móviles y sus componentes, pueden representar, *Conocimiento general de la población del Área Metropolitana sobre la toxicidad de las sustancias contenidas en los teléfonos móviles* (Tabla 8, Figura 9); Además, el 51.0% expreso desconocer que las baterías de teléfonos móviles contienen sustancias clasificadas como peligrosas y el riesgo que representa la disposición inapropiada de estos a la salud humana y al medio ambiente en general. Se pudo determinar que existe un interés entre la población ante la posibilidad de reciclar sus unidades. El 92.4% de la población esta dispuesto reciclar sus teléfonos móviles si se le proveen las instalaciones de recolección apropiadas, *Actitud de la población muestreada, con relación a la recolección de los teléfonos móviles* (Tabla 9). Sin embargo solamente el 50.2% de la población muestreada estaría, dispuesto a pagar algún impuesto que seria utilizado para el manejo y disposición de los teléfonos móviles. El 71.2% de la población que estaría dispuesta a pagar por la disposición ambientalmente segura de sus teléfonos móviles, pudiera pagar hasta \$5.00 por unidad. En la actualidad el costo por la disposición de un teléfono móvil (incluyendo los accesorios) es de aproximadamente \$1.00.

En Puerto Rico, las compañías de telefonía móvil no se responsabilizan por las unidades distribuidas por ellos. Durante el periodo que comprendió este estudio,

solamente una compañía de telefonía móvil, Movistar (actualmente Open móvil), indico tener un programa de recogido de teléfonos móviles. Este programa se llamo, “Sal de tu Celular Viejo y Recicla”. Mediante este programa se colocaron centros de acopio en las tiendas de distribución, escuelas, bancos y los Parques Nacionales de Puerto Rico. Las unidades recolectadas fueron vendidas a la empresa CRC Wireless Recycling, en Miami. En donde, según su condición eran: reparados y donados a entidades benéficas o se reciclaban, las unidades que no fuesen funcionales. El dinero recolectado, fue donado al programa “Amigo de los Parques Nacionales”, mediante la adopción de la tortuga marina, Bosco, del Zoológico de Mayagüez. Sin embargo, solamente se pudieron recolectar 6,000 unidades, lo que represento el 46% de lo proyectado (Borrero, 2007, Movistar, com. pers.) y menos del 0.1% de los teléfonos móviles en desuso, estimados mediante este estudio.

A nivel gubernamental, esta corriendo un programa similar a través de ADS. Sin embargo, durante el periodo que comprendió desde diciembre de 2006 a mayo 2007, se habían podido coleccionar solamente, 157 teléfonos móviles a nivel de la agencia (Guzmán, 2007. ADS, com. pers.). También, se realizó una campaña durante el mes de junio de 2007 para el recogido de equipos electrónicos. Esta se llevó de manera simultánea en las instalaciones del Aquaexpreso, en San Juan y del Colegio Universitario de Mayagüez. De acuerdo al informe rendido por el Director Ejecutivo de ADS, la masa de teléfonos móviles coleccionados fue de 123.0 kg. (ADS, 2007a). Sin embargo, según los resultados obtenidos a través de este estudio, esto representaría menos del 0.015% del volumen de los teléfonos en desuso almacenados en Carolina, solamente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los teléfonos móviles contienen sustancias clasificadas como tóxicas por la EPA. Entre estas sustancias se encuentran el plomo. Mediante este trabajo pudimos determinar que la disposición inadecuada de los teléfonos móviles en Puerto Rico, durante el periodo de 2000 a 2012, resultará en la posible generación de desperdicio electrónico, en cantidades de hasta 2,771 toneladas métricas, y 851,65 toneladas métricas de plomo. Además, se generará en el área de Carolina, un volumen de desperdicio sólido electrónico que pudiera llegar a ser de hasta 299.36 toneladas métricas y 91.97 toneladas métricas de plomo, lo que representa un riesgo a la salud humana y al medio ambiente.

Entre las recomendaciones que hacemos como resultado de esta investigación se encuentran:

Recomendación 1: Clasificar y manejar los teléfonos móviles como desperdicios universales. Estos equipos eléctricos, contienen plomo, que pueden potencialmente lixiviar en concentraciones superiores al límite establecido por EPA, que es de 5.0 Mg/L. Es imperativo dado los resultados de este estudio que se clasifiquen los teléfonos móviles como desperdicios sólidos peligrosos.

Recomendación 2: La promulgación de legislación aplicable a los desperdicios electrónicos. Es necesario, dada la gran cantidad de plomo y desperdicio sólido electrónico, que se genera como resultado de la disposición inapropiada de teléfonos móviles, la promulgación de legislación que reglamente el manejo y disposición

ambientalmente segura de estos equipos de comunicación. Esto evitará que estos lleguen a los sistemas de relleno.

Recomendación 3: Desarrollar un Sistema de Responsabilidad Extendida de los Productores (REP). En la actualidad, nuestro país adolece de un sistema de recolección y manejo para los teléfonos móviles descartados. Mediante este sistema, se debe compartir la responsabilidad del manejo y disposición de los teléfonos móviles entre el manufacturero y el distribuidor del teléfono móvil. Este sistema debe incluir los siguientes objetivos:

- a. estar enfocado especialmente en los desperdicios sólidos generados como resultado de la disposición de los teléfonos móviles, al final de su vida económica
- b. definir claramente, la responsabilidad de los productores y distribuidores en el manejo, transporte y reciclaje de sus teléfonos al final de su vida útil.
- c. establecer metas de reciclaje manejables dada la infraestructura de Puerto Rico
- d. la creación de un fondo utilizado para el reciclaje de los teléfonos móviles
- e. proveer a los consumidores, incentivos económicos para devolver sus teléfonos móviles para ser reciclados

Recomendación 4: El costo del manejo y disposición ambientalmente segura de los teléfonos móviles no debe recaer sobre los consumidores. En la actualidad la responsabilidad del manufacturero y/o distribuidor de los teléfonos móviles, termina con la venta del equipo. El costo promedio del manejo y disposición ambientalmente segura de un teléfono móvil (incluyendo accesorios) es de aproximadamente \$1.00. Tanto el manufacturero como el distribuidor de estos equipos deben ser responsables de la

recolección, manejo y disposición ambientalmente segura de los equipos y absorber el costo que esto implica.

Para que esto se concrete, el gobierno de Puerto Rico, además de legislación, debe crear incentivos económicos que promueva y refuercen la recolección de las unidades vendidas por parte de los distribuidores de teléfonos móviles. Este beneficio a su vez, pasaría al consumidor, mediante créditos aplicados a la compra de nuevas unidades.

Recomendación 5: Crear conciencia en la ciudadanía, sobre el serio problema ambiental que la disposición inadecuada de los teléfonos móviles representa. Como resultado de esta investigación, determinamos que el consumidor promedió desconoce sobre el riesgo de las sustancias peligrosas contenidas en los teléfonos móviles y sobre los riesgos ambientales que la disposición inadecuada de estos representa. El gobierno estatal en conjunto con las compañías de telefonía móvil, deben desarrollar una campaña masiva dirigida a los consumidores, para crear conciencia sobre el problema de disposición inadecuada de los desperdicio electrónico. Además, debe ser responsabilidad de los fabricantes de teléfonos móviles incluir en los manuales de usuarios, los químicos presentes en estos equipos electrónicos y los riesgos que estos pueden representar a la salud y al medio ambiente.

En general, entre las limitaciones que encontramos durante este estudio se encuentran, los pocos estudios, disponibles referente a la toxicidad de los teléfonos móviles “*per se*”. Entre los estudios existentes, la mayoría son referentes a los tubos de rayos catódicos en los televisores y monitores de computadoras. Además, de la poca información proveída, por parte de las compañías de telefonía móvil con relación a datos, como por ejemplo las proyecciones de ventas. La mayoría de los datos referente a la

cartera de telefonía móvil fueron brindados por la Junta Reguladora de Telecomunicaciones. Los datos referentes al por ciento de suscriptores en el Área Metropolitana de San Juan, fueron provistos por Movistar; no sabemos si coinciden con los de las otras compañías de telefonía móvil locales.

Puerto Rico necesita una solución para el problema del manejo los desperdicios sólidos electrónicos. Es imperativo que tanto las compañías proveedoras de servicio móvil, como las agencias reguladoras y el consumidor en general, tome acción para contrarrestar esta situación. El consumidor debe ser provisto con información sobre los efectos de los desperdicios electrónicos, sobre el medio ambiente. El gobierno debe proveer facilidades y mecanismos para la recolección de los teléfonos móviles. Además de promulgar políticas que impulsen es desarrollo de tecnología que impacte menos el medio ambiente. De esta manera podremos aportar al disfrute de un medio ambiente limpio y seguro, para esta y las futuras generaciones.

LITERATURA CITADA

- Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (1999). *ToxFAQsTM para Cadmio (Cadmium)*. CAS#74407-45-9.
- Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2001). *ToxFAQsTM para Mercurio (Mercury)*. CAS#7439-97-6.
- Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2002a). *ToxFAQsTM para Cobre (Copper)*. CAS#7440-50-8.
- Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2002b). *ToxFAQsTM para Berilio (Beryllium)*. CAS#7440-41-2.
- Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2003). *ToxFAQsTM para Níquel (Nickel)*. CAS#7440-02-0.
- Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2007a). *ToxFAQsTM para Plomo (Lead)*. CAS#7439-92-1
- Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). (2007b). *ToxFAQsTM para Arsenico (arsenic)*. CAS#7440-38-2.
- Ameds, A., & Saukko, P. (2003) Brominated flame retardants and phenolic endocrine disrupters in Finnish human adipose tissue. *Chemosphere* (9), 1123pp.
- Autoridad de Desperdicios Sólidos. (2007a). *Exitoso primer recogido de electrónicos en ADS*. [Comunicado]. 16 agosto de 2007.
- Autoridad de Desperdicios Sólidos. (2007b). *Listado de centros de acopio y reciclaje en Puerto Rico* [Folleto].
- Autoridad de Desperdicios Sólidos. (2007c). *Sistemas de rellenos en Puerto Rico* [Folleto].
- Ayala, S. (2006). *Evaluación de los peligros relacionados a la generación de lixiviados en el sistema de relleno de Juncos, Puerto Rico*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.
- Birnbaum, L (june, 2003). Brominated flame retardant: toxicology and risk. *Presented at "the meeting Regional/ORD workshop on emerging pollutants, summary report"*. Chicago, IL.

- Cámara de Representantes de Puerto Rico, (2007). *Se suman celulares al problema de desperdicio sólidos en Puerto Rico. Comunicado de Prensa*. San Juan Puerto Rico.
- CNN. (2001). Tecnología y ciencia. *Nokia: La mitad de la población mundial tendrá teléfonos móviles para el 2015*. CNNenespañol.com.
- Fishbein, B. (2002). *Waste in the wireless world: the challenge of the phones*. Inform. New York, NY.
- Five Winds International. (2001). *Toxic and hazardous materials in electronics. An environmental scan of toxic and hazardous materials in information technology and telecommunications products and waste*. Final report, for environment Canada, national office of pollution prevention and industry Canada, computers for schools program.
- J. F. & Associates. (1998). *Work plan and quality assurance plan for hydrogeology investigation and groundwater monitoring at the Carolinas municipal sanitary landfill, Carolina PR*. Job No. 038-97.
- J. F. & Associates. (1999). *Report on first sampling event groundwater detection monitoring Carolina municipal sanitary landfill, Carolina, P.R. July 1999*. Job No. 038-97.
- J. F. & Associates. (2000). *Report on sampling event groundwater detection monitoring Carolina municipal sanitary landfill, Carolina, P.R. December, 1999*. Job No. 038-97.
- Junta Reglamentadora de Telecomunicaciones de Puerto Rico. (2007). *Suscriptores inalámbricos*. Wireless Market of PR [Folleto].
- Lincoln, D. (2007). *Leaching Assessment of hazardous materials in cell telephones*. Environmental scientific technology.
- Lunder, S. & Sahrp, R. (2002). *Tainted catch*. Environmental Working Group. Washington, D.C.
- Luo, Q. (2007). *Polybrominated diphenyl ether in fish and sediment from river polluted by electronic waste*. Science of the total environment. On line.
- Magnuson, L. (2003). Overview of brominated flame retardant. “Presented at the meeting Regional/ORD workshop on emerging pollutants, summary report”. Chicago, IL.
- Manalac, S. (2006) *Electronic Waste: A threat in the future*. University of Philippines. Environmental Engineering, Diriman.

- Marquez, J. (1998). *Compubasura: plan de reciclaje de computadoras para Puerto Rico*. Disertación de maestría, no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, UMET. Rio Piedras, PR.
- Morales, E. (2007). *Evaluacion de riesgo de los lixiviados provenientes del sistema de relleno sanitario del municipio de Florida, Puerto Rico*. Disertación de tesis de maestría no publicada. Escuela de Asuntos Ambientales, Universidad Metropolitana, San Juan, Puerto Rico.
- Most, E. (2003). Calling all cell phones collection, reuse, recycling programs in US. *Inform*. New York.
- O'Nenell, k. (2002). Computing the damage. *Waste Age*. Vol. 33: p48-57.
- Puckett, J. (2002). *Exporting harm: high-tech trashing of Asia*. Basel Action Network (BAN) Seattle, WA.
- Rohena, S. (2000) *El manejo de los desperdicios sólidos peligrosos y no peligrosos, de conformidad con la Ley de Conservación y de Recuperación del Recurso (RCRA) del 21 de octubre de 1976, según enmendada*. Universidad Metropolitana de San Juan (UMET).
- Senado de Puerto Rico. (2007a). Propuesta (P.C. 2955) para establecer la Ley de Reciclaje y Disposición de Equipos Electrónicos de Puerto Rico.
- Senado de Puerto Rico. (2007b). Propuesta (P.C. 2884) para establecer la Ley para Reglamentar el Reciclaje y la Disposición de Teléfonos Celulares Fuera de Uso.
- Schmidt, C. (2002). *e-Junk explosion*. Environmental Health Perspective. Volume 110(4). en línea recuperado en agosto 2004:www.findarcycles.com.
- Scott, H. (1997). *Disposition and end-of-life options for personal computers*. Green Design Institute, technical report II 97-10. Carnegie Mellon University.
- Silicon Valley Coalition. (SVTC), Californians Against Waste (CAW) and the Materials for the Future Foundation, (2001). *Poisons PCs and toxics TVs: California's biggest crisis you've never heard of*. San Jose, CA.
- Slack, K. (2005). Household hazardous waste in municipal landfills contaminants in leachate. *Science of the total environment*. Volumen 337: Pag 119-113.
- Smeds, A. & Saúco, A. (2003). Brominated flame retardant and phenolic endocrine disrupters in finis human adipose tissue. *Chemosphere*, 53:1123-1130.
- Stapp, K. (2002). *Sheep cell phones increase piles of e-waste in south*. Imagen Latinoamericana.

- Toxic Substances Control Agency. (2003). *Managing universal waste in California; rules for managing some common waste*. [Fact Sheet].
- Townsend, T. (1999). *Characterization of lead leacheability from cathode ray tubes using the toxicity characteristic leaching procedures*. Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, Florida.
- Townsend, T. (2003). Examining the pollution potential of discarded electronic equipment disposal. Presented at: *The meeting Regional/ORD workshop on emerging pollutants*, summary report. Chicago, IL.
- Townsend, T. (2004). *RCRA, Toxicity characterization of computer CPU's and other discarded devices*. Solid and Hazardous Waste Engineering Program, University of Florida.
- US Environmental Protection Agency. (1998). *Donaciones para la asistencia técnica de "supefund"*. Oficina de Desperdicios Sólidos y Respuesta de Emergencia (5204G) OSWER 9230.1-05FS septiembre 1998.
- US Environmental Protection Agency. (2000). *Waste Wise Update: Electronics reuse and recycling*.(EPA 530-N-00-007).
- US Environmental Protection Agency. (March 2002). *The "Battery Act" Enforcement Alert*. Office of Enforcement and Compliance Assurance (2248A) Volumen 5 Number 2. EPA 300-N-02-002.
- USGS (2001). *Obsolete computers "gold mine" or high- tech trash? Resource Recovery from recycling*. USGS fact sheet FS-060-01 July 2001
- Wong, H. (2007). *Export of chemicals*. A review of the case of uncontrolled electronic waste recycling environment pollution. *Environmental Pollution* 149(2) P131-144.

TABLAS

Tabla 1.

Estimación anual de la población que comprende el Área Metropolitana de Puerto Rico.

Pueblo	Población Estimada					
	julio 2006	julio 2005	julio 2004	julio 2003	julio 2002	julio 2001
Bayamón	221,546	222,250	222,853	223,365	223,816	224,117
Carolina	187,578	187,523	187,384	187,194	186,894	186,427
Cataño	27,036	27,569	28,098	28,609	29,092	29,546
Guaynabo	102,525	102,283	101,960	101,614	101,259	100,790
San Juan	426,618	428,452	430,178	431,800	433,108	434,072
Trujillo Alto	84,396	83,077	81,726	80,351	78,931	77,507
total de la población	1,049,699	1,051,154	1,052,199	1,052,933	1,053,100	1,052,459
proporción en el municipio de Carolina	17.9%	17.8%	17.8%	17.8%	17.7%	17.7%

Fuente: Junta de Planificación de Puerto Rico

Tabla 2

Cartera de clientes de telefonía móvil en Puerto Rico: 1996-2006

Año	Número de Suscriptores	Cambio	Crecimiento
1996	239,000	-	-
2000	1,379,065	1,140,065	477%
2001	1,628,644	249,579	18.1%
2002	1,646,419	17,775	1.1%
2003	1,708,077	61,658	3.7%
2004	1,847,607	139,530	8.2%
2005	1,993,150	145,543	7.9%
2006	2,193,570	200,420	10.1%

Fuente: Junta Reglamentadora de Telecomunicaciones de Puerto Rico

Tabla 3

Distribución de los sistemas de relleno, en el Área Metropolitana de Puerto Rico.

Sistema de Relleno	Dirección	Operador	Municipio que Dispone
Carolina	Ave, Paseo de los Gigantes, Car. PR 874 final, Km. 1.7, Barrio Hoyo Mulas, Carolina	Landfill Technonologies	Carolina
Guaynabo	Sector la Muda, Car. 834 Int. Barrio Camarones	Landfill Technonologies	Guaynabo
Humacao	Car. PR 923 Km. 1.7 Barrio Buena Vista	Waste Management	Caguas, Gurabo, Las Piedras, San Juan
Juncos	Car., PR 185, Km. 20.1 interior, Barrio Gurabo Abajo	Municipio	Aguas Buenas, Juncos, Trujillo Alto
Toa Baja	Car. PR 865 Km. 4.2 Barrio Candelaria Arena, Toa Baja	Landfill Technonologies	Cataño, Bayamón Dorado, Morovis, Toa Baja

Fuente: Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico

Tabla 4

Estimación de la cantidad de desperdicios sólidos que representan los teléfonos móviles descartados en el Área Metropolitana de Puerto Rico, durante 2000-2012

Año	número de teléfonos en desuso en Puerto Rico	proporción promedio de teléfonos móviles en desuso en el Área Metropolitana	proporción promedio de teléfonos móviles en desuso en el Carolina	masa promedio de teléfonos móviles en des uso en Carolina (kg.)
2000 al 2004	3,695,394	2,217,236	399,103	195,560
2004-2006	1,847,697	1,108,618	199,551	19,955
<u>2006-2008</u>	<u>2,193,570</u>	<u>1,316,142</u>	<u>236,906</u>	<u>23,691</u>
<u>Total</u>	<u>7,736,661</u>	<u>4,641,997</u>	<u>835,559</u>	<u>239,206</u>

Tabla 5

Método de manejo final para los teléfonos móviles, en desuso descartados por la población del Área Metropolitana, de Puerto Rico.

Pueblo	Número promedio de teléfonos móviles, que los usuarios han poseído	Tiempo promedio, que los usuarios mantiene sus teléfonos móviles (años)	Número de años promedio desde que los clientes tuvieron su primer teléfono móvil	Estimación de como los usuarios de teléfonos móviles en el Área Metropolitana manejan sus teléfonos móviles al final de su vida económica			
				Almacenados	Donados	Reciclados	Dispuestos al flujo de desperdicios sólidos
Bayamón	1.3	1.5	2.4	55%	33%	0%	12%
Carolina	2.0	2.1	3.6	54%	23%	0%	23%
Cataño	3.0	2.1	6.0	40%	40%	0%	20%
Guaynabo	3.0	2.0	5.9	84%	7%	0%	9%
San Juan	2.2	1.7	5.3	56%	37%	0%	7%
Trujillo Alto	2.3	1.9	3.6	50%	18%	6%	26%
Promedio	2.3	1.9	4.5	56.5%	26.3%	1.0%	16.2%

n = 100

Tabla 6

Proyección para el crecimiento de la telefonía móvil en Puerto Rico, de mantenerse la tendencia de crecimiento.

año	número de suscriptores	cambio	crecimiento
1996	239,000	-	-
2000	1,379,065	1,140,065	477%
2001	1,628,644	249,579	18.1%
2002	1,646,419	17,775	1.1%
2003	1,708,077	61,658	3.7%
2004	1,847,607	139,530	8.2%
2005	1,993,150	145,543	7.9%
2006	2,193,570	200,420	10.1%
2007	2,375,323	181,753	8.3%
2008	2,573,987	198,664	8.4%
2009	2,787,259	213,272	8.3%
2010	2,996,527	209,268	7.5%

nota: datos extrapolados de la cartera de telefonía móvil desde 1996 a 2006

Tabla 7

Proyección para la generación de desperdicio sólido electrónico y de plomo, resultados de la disposición de los teléfonos móviles, en Puerto Rico, de mantenerse la tendencia de crecimiento.

años	número de unidades activas en Puerto Rico	número de unidades activas en Carolina	masa del desperdicio generado en Puerto Rico (kg.)	masa del desperdicio generado en Carolina (kg.)	masa del plomo que pudiera lixiviar en los vertederos en Puerto Rico (kg.)	masa del plomo que pudiera lixiviar en los vertederos en Carolina (kg.)
2000-2004	3,695,394	399,103	1,810,743	195,560.25	236,505	25,543
2004-2006	1,847,697	199,551	184,770	19,955.13	118,253	12,771
2006-2008	2,193,570	236,906	219,357	23,690.56	140,388	15,162
2008-2010	2,573,987	277,991	257,399	27,799.06	164,735	17,791
2010-2012	<u>2,996,527</u>	<u>323,625</u>	<u>299,653</u>	<u>32,362.49</u>	<u>191,778</u>	<u>20,712</u>
total	13,307,175	1,437,175	2,771,921	299,367	851,659	91,979

Nota: datos extrapolados partir de la cartera de telefonía móvil en Puerto Rico, desde 1996 a 2006

Tabla 8

Conocimiento general de la población del Área Metropolitana de Puerto Rico, sobre la toxicidad de las sustancias contenidas en los teléfonos móviles.

Pueblo	población que tiene conocimiento sobre la toxicidad de las sustancias contenidas en los teléfonos móviles		población que tiene conocimiento sobre la toxicidad de las sustancias contenidas en las baterías de los teléfonos móviles	
	tiene conocimiento	no tiene conocimiento	tiene conocimiento	no tiene conocimiento
Bayamón	88.9%	11.1%	77.8%	22.2%
Cataño	0.0%	100.0%	50.0%	50.0%
Carolina	42.9%	57.1%	55.1%	44.9%
Guaynabo	40.0%	60.0%	26.0%	74.0%
San Juan	75.0%	25.0%	50.0%	50.0%
Trujillo Alto	52.9%	47.1%	47.0%	53.0%
Promedio	49.9%	50.0%	51.0%	49.0%

n =100

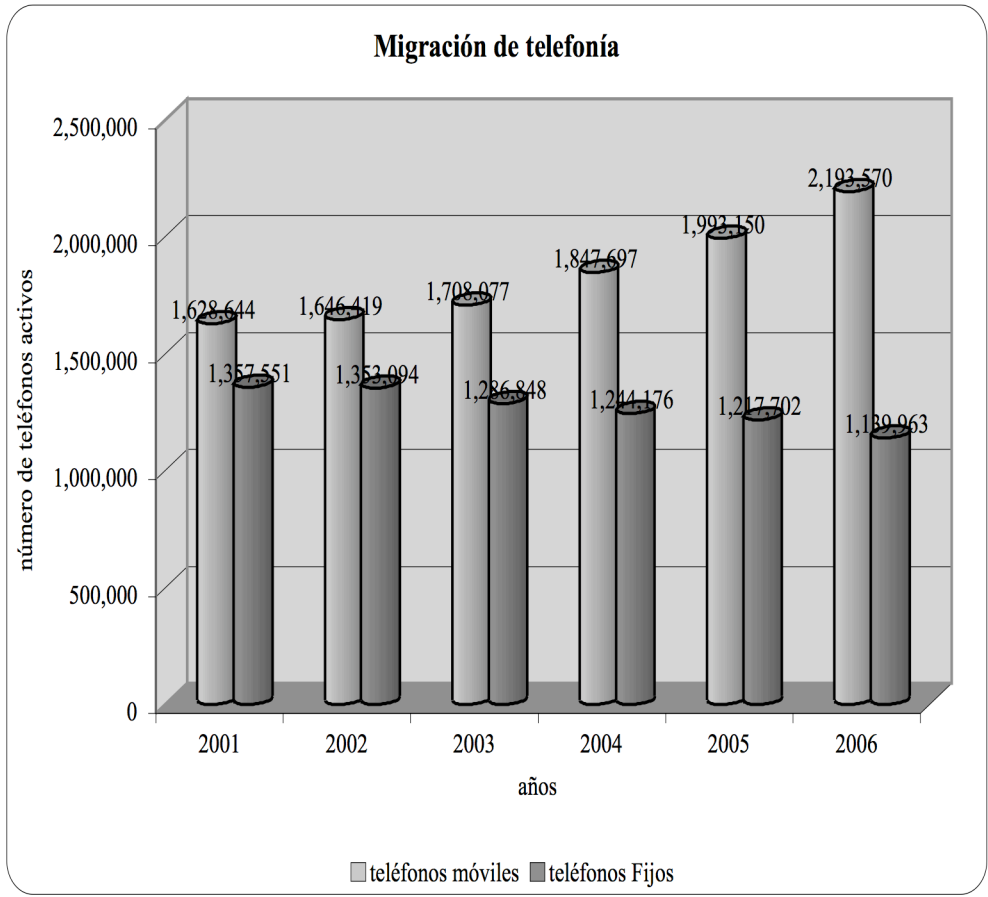
Tabla 9

Disposición de la población muestreada, con relación a la recolección de los teléfonos móviles.

Pueblo	población que estaría dispuesta a llevar sus teléfonos móviles a centros de acopio		población que estaría dispuesta a pagar un impuesto por el reciclaje sus teléfonos móviles		Impuesto que la población estaría dispuesta a pagar para el reciclaje de sus teléfonos móviles			
	si	no	si	no	0 - \$5	\$6 - \$10	\$11 - \$15	mas de \$15
Bayamón	87.5%	12.5%	50.0%	50.0%	18.0%	-	-	-
Cataño	66.6%	33.3%	64.3%	35.7%	22.0%	-	-	-
Carolina	65.0%	3.0%	40.0%	60.0%	31.5%	6.0%	-	-
Guaynabo	100.0%	0.0%	34.0%	66.0%	12.0%	12.0%	6.0%	-
Rio Piedras	50.0%	0.0%	60.0%	40.0%	19.0%	31.0%	1.0%	-
Trujillo Alto	100.0%	0.0%	53.0%	47.0%	41.0%	6.0%	-	-
Total	70.7%	8.1%	50.2%	49.8%	23.9%	13.8%	3.5%	0.0%

n = 100

FIGURAS



fuentes: Junta Reguladora de Telecomunicaciones, de Puerto Rico

Figura 1. Migración de la telefonía en Puerto Rico, durante los años 2000 al 2006.

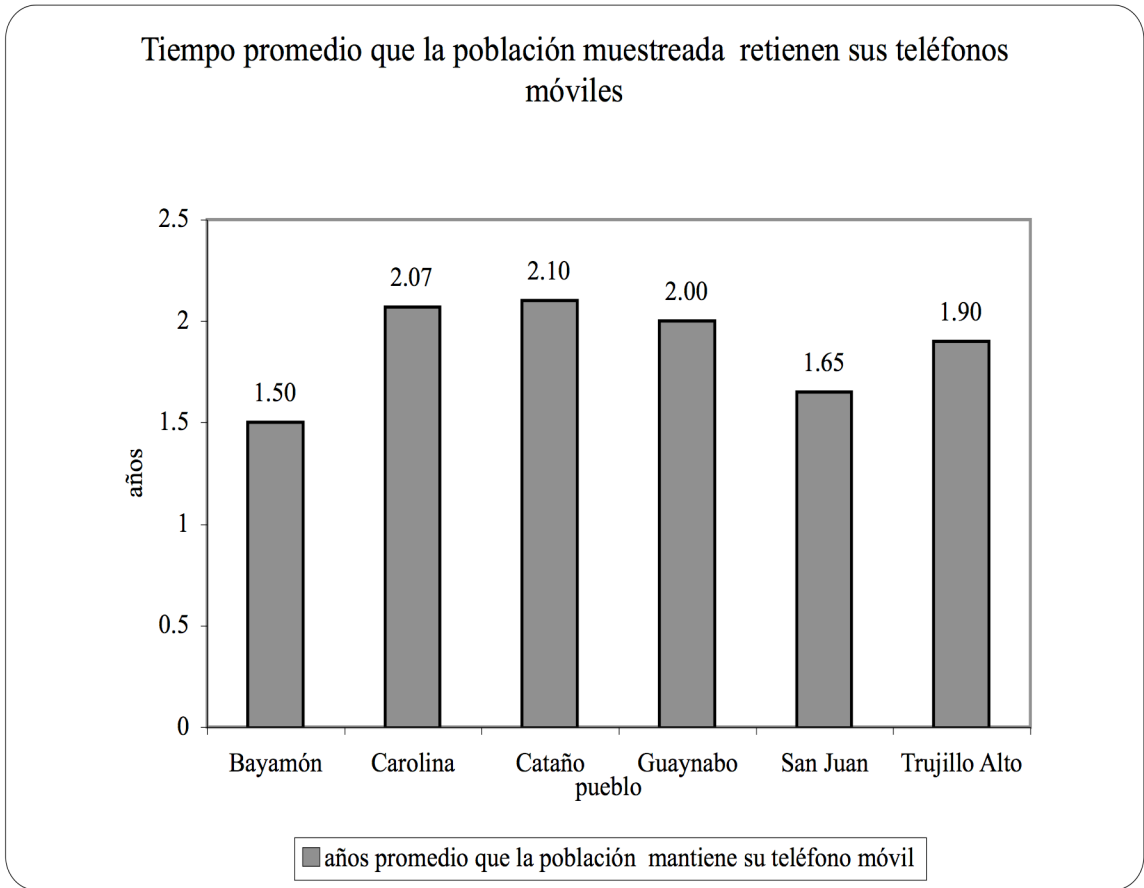
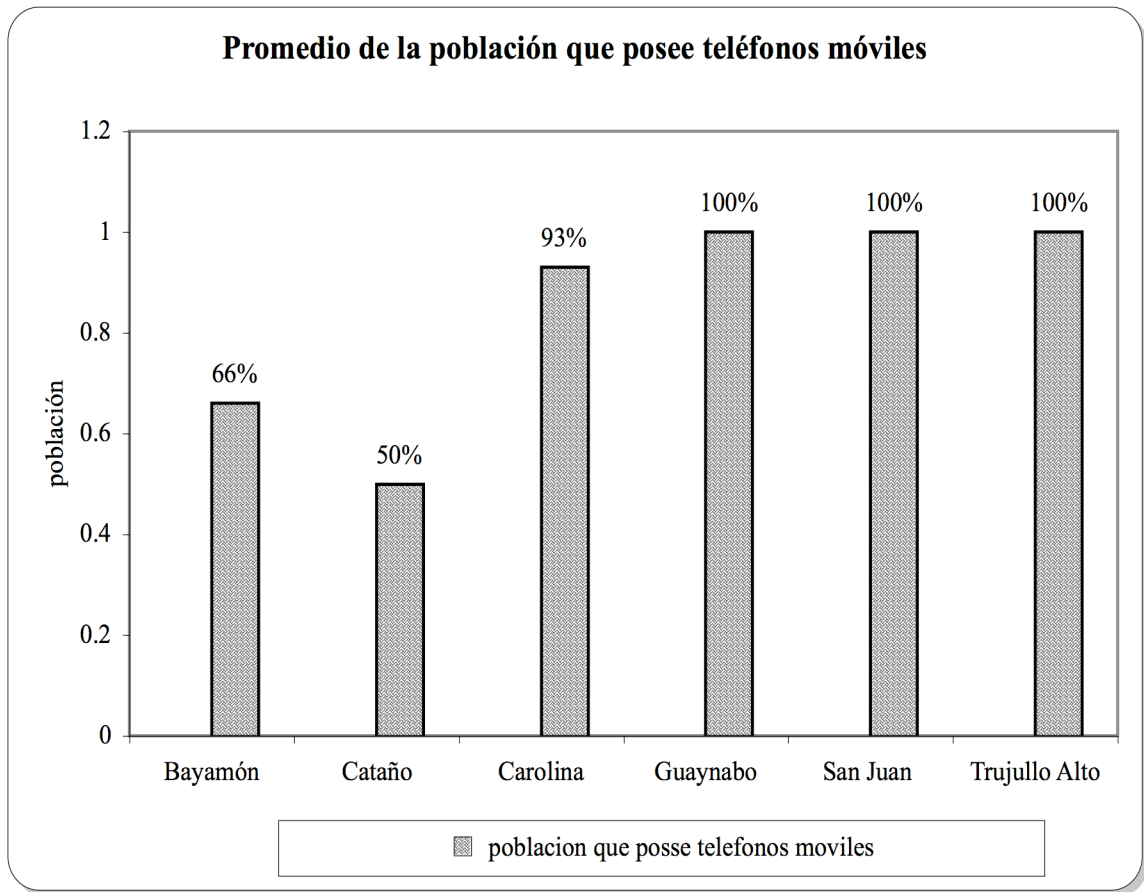
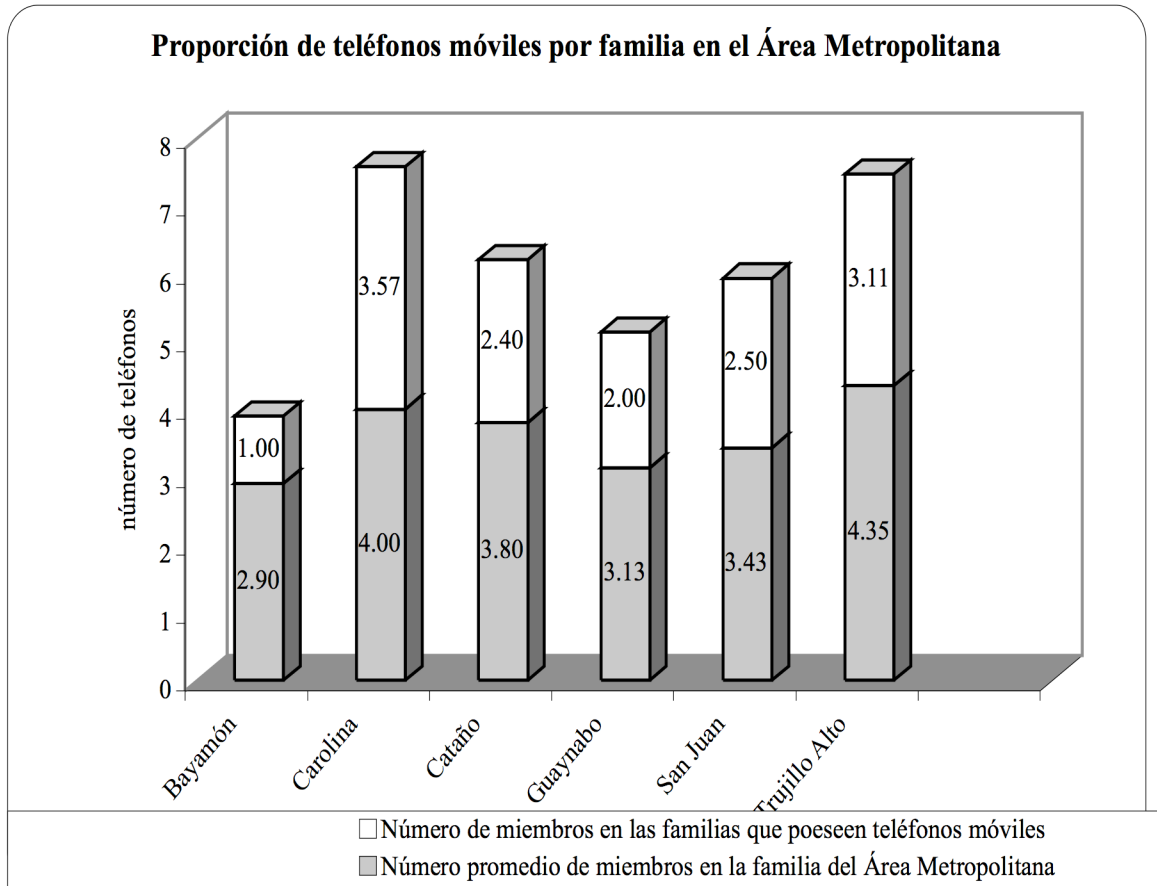


Figura 2. Tiempo promedio que la población en el muestreada, retiene sus teléfonos móviles antes de sustituirlos.



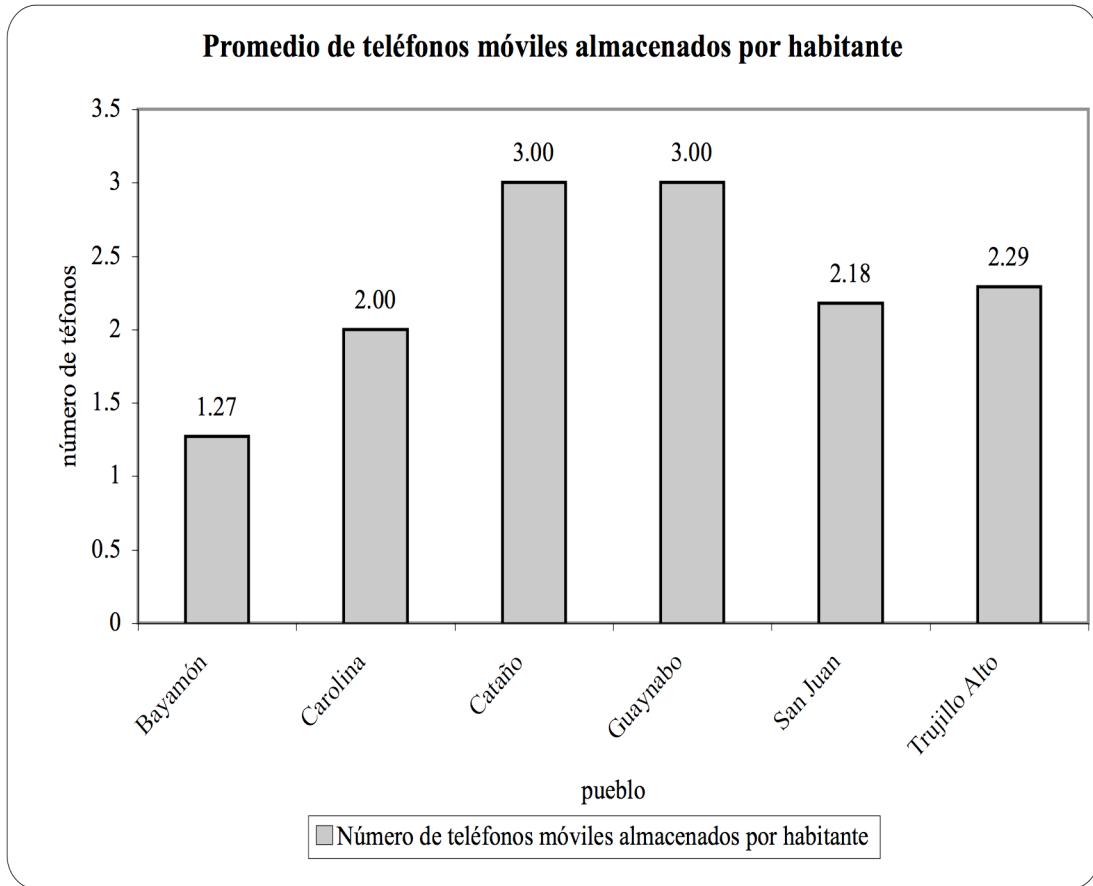
n = 100

Figura 3: Por ciento de la población muestreada que posee teléfonos móviles



n=100

Figura 4. Proporción de teléfonos móviles por familia en el Área Metropolitana



n =100

Figura 5. Número de teléfonos móviles almacenadas por habitante en el Área Metropolitana.

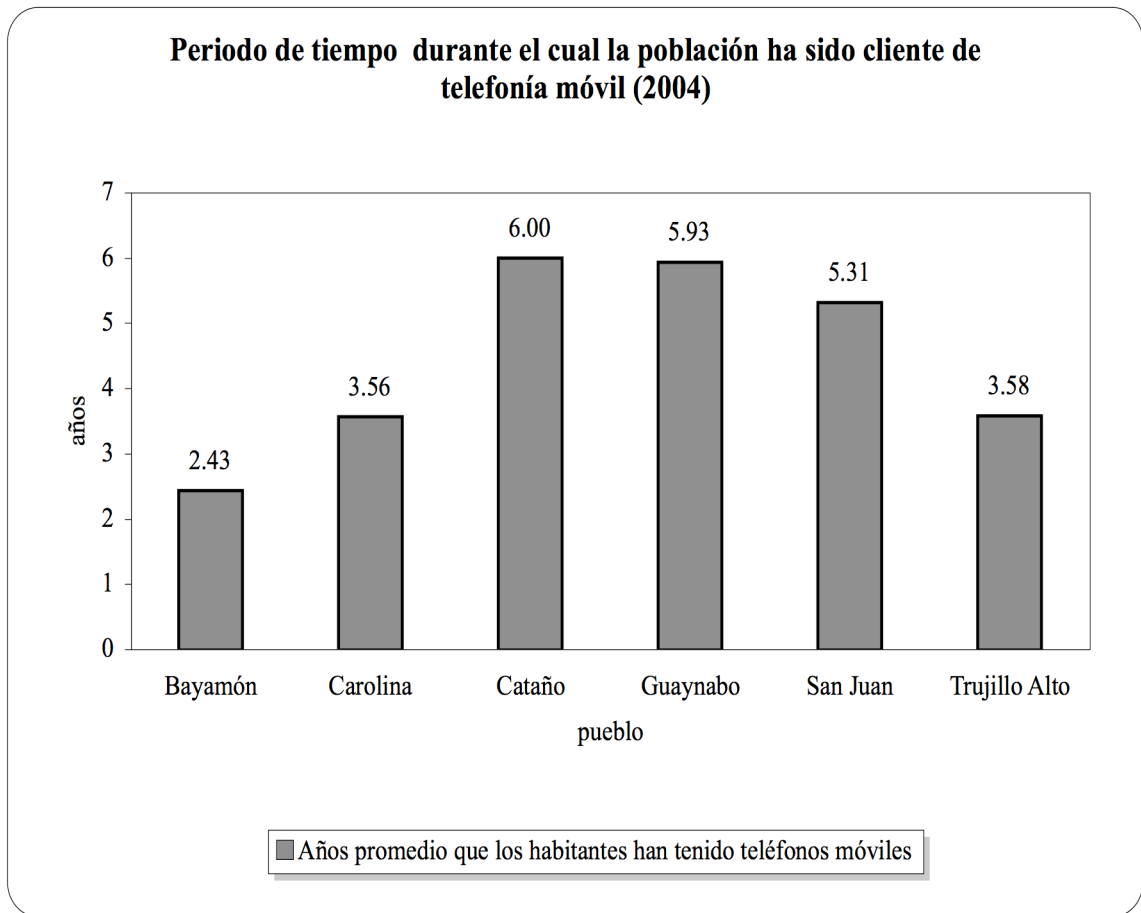


Figura 6. Tiempo promedio que la población muestreada ha sido cliente de telefonía móvil.

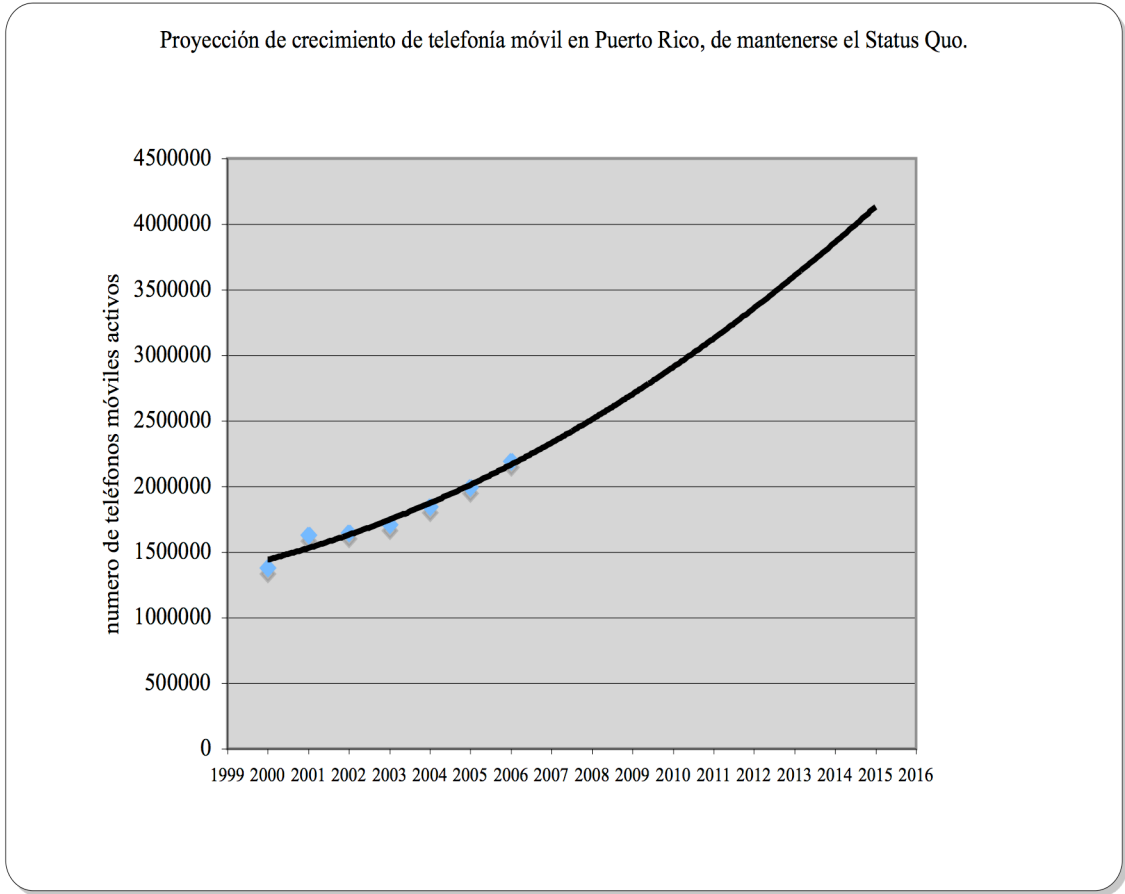
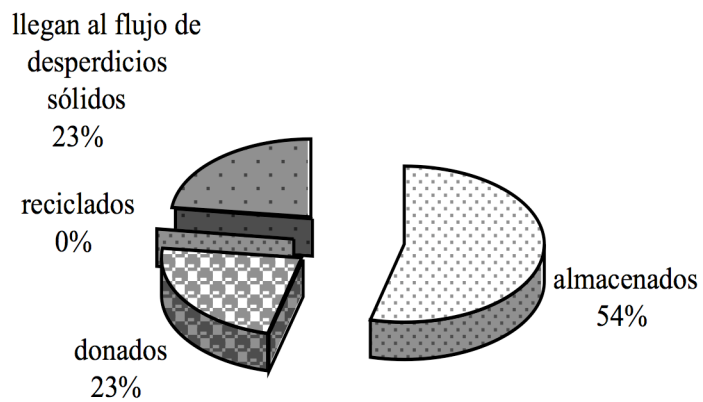


Figura 7. Proyección de crecimiento de la telefonía móvil, de mantenerse el “Status Quo”.

Método de disposición final de los teléfonos móviles por la población de Carolina



■almacenados ■donados ■reciclados ■llegan al flujo de desperdicios sólidos

Figura 8. Modo de disposición final de los teléfonos móviles, utilizada por la población de Carolina. n =100.

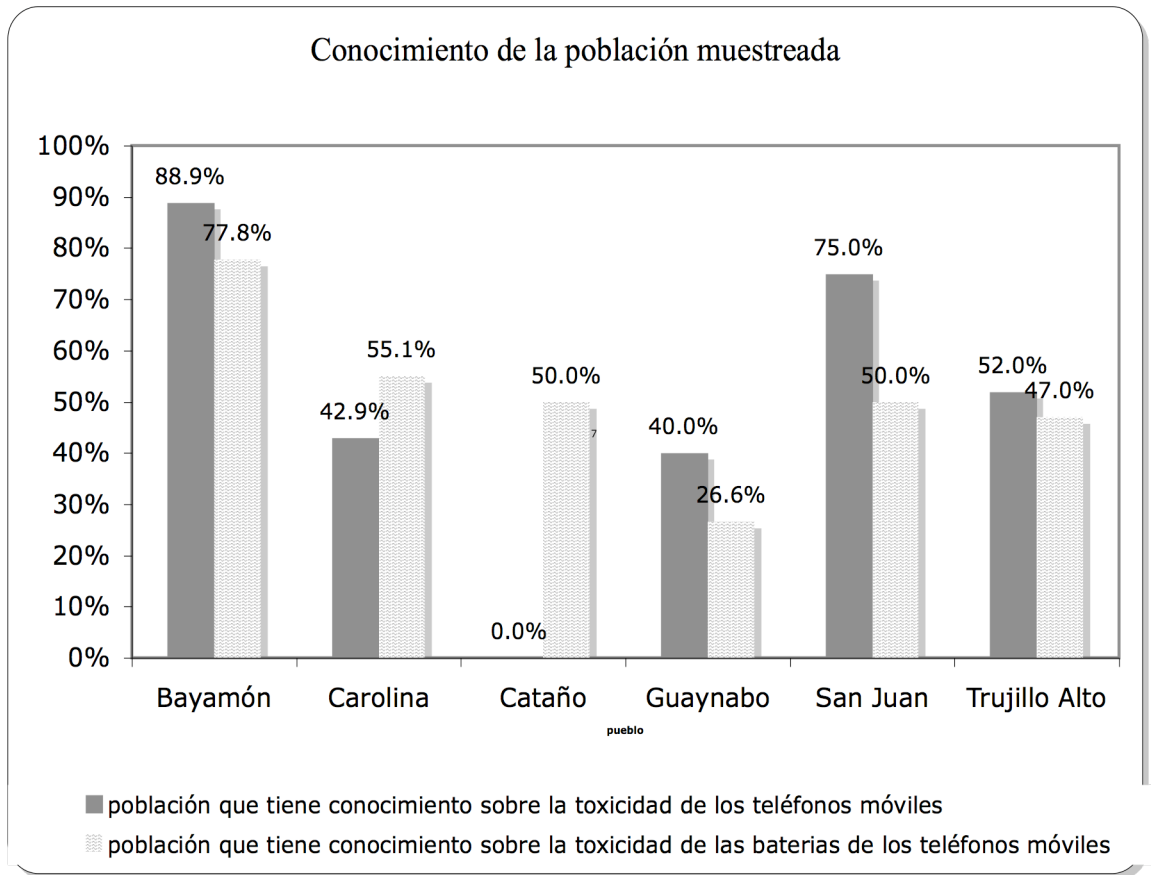


Figura 9. Conocimiento de la población muestreada, sobre la toxicidad de los teléfonos móviles. n = 100.

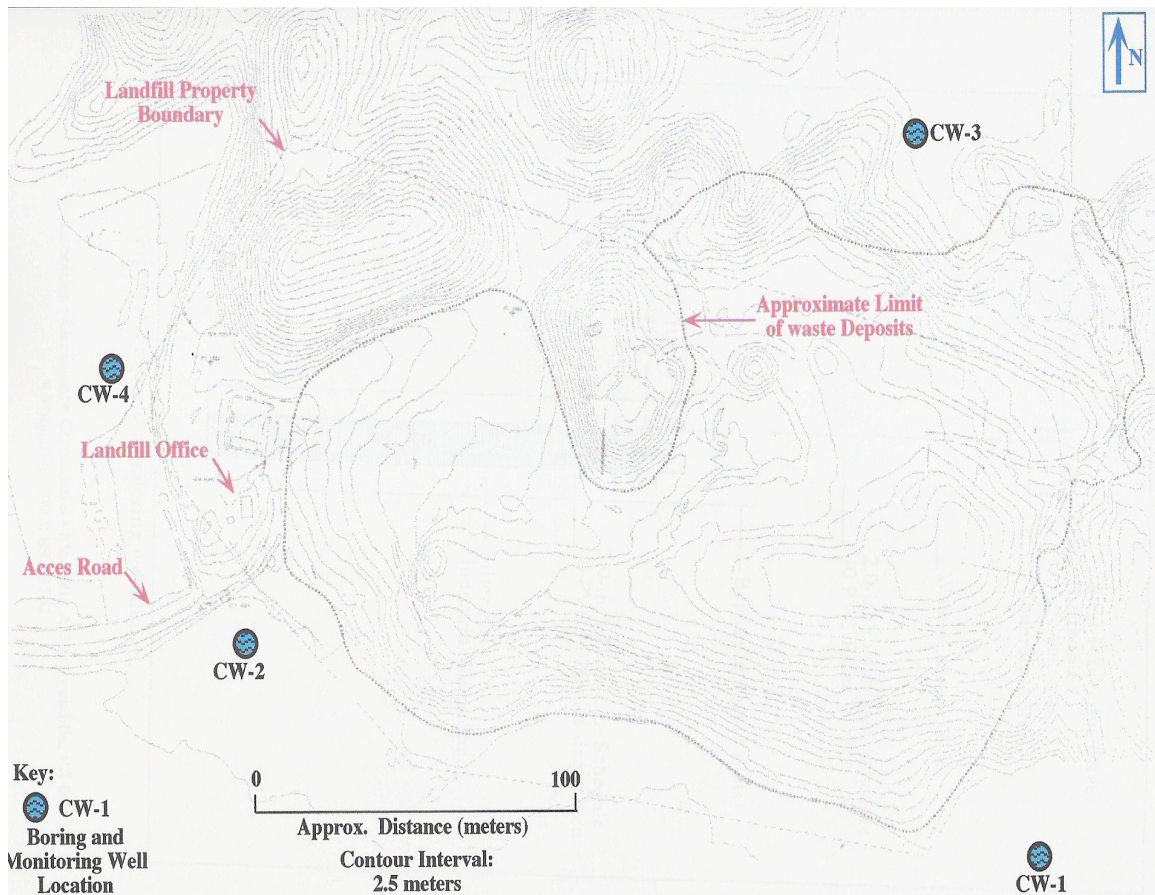
APÉNDICES

**APÉNDICE 1: PUEBLOS QUE COMPREENDEN EL ÁREA METROPOLITANA
DE PUERTO RICO, SEGÚN MOVISTAR**



**APÉNDICE 2: MAPA TOPOGRÁFICO DEL SISTEMA DE RELLENO DE
CAROLINA. ADAPTADO USGS.**

APÉNDICE 3: LOCALIZACIÓN DE LOS POZOS DE MONITOREO, DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS, BAJO EL SISTEMA DE RELLENO DE CAROLINA



APÉNDICE 4: FOTO AÉREA DEL SISTEMA DE RELLENO DE CAROLINA.



APÉNDICE 5: CUESTIONARIO UTILIZADO DURANTE LA RECOLECCIÓN DE DATOS.

UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE PUERTO RICO
ESCUELA DE ASUNTOS AMBIENTALES

El siguiente cuestionario ha sido generado para cumplir con los requisitos para la obtención del grado de Maestría en Gerencia Ambiental. Le agradezco me brinde varios minutos de su tiempo para contestar el mismo.

1. ¿Posee usted un teléfono móvil?
 sí no
2. Si contesto que no, pase la pregunta #16.
3. ¿Cuántos teléfonos móviles ha tenido usted antes del actual?

4. ¿Hace cuanto tiempo tuvo usted, su primer teléfono móvil?

5. ¿Por cuanto tiempo mantiene el mismo teléfono móvil, antes de sustituirlo?
 1 año 1.5 años 2 años otro _____
6. ¿De cuántos miembros se compone su familia inmediata?

7. ¿Cuántos miembros de su familia inmediata, poseen teléfonos móviles?

8. ¿Cual es la edad de la persona más joven, que posea un teléfono móvil?

9. ¿Cual es la edad de la persona de mayor edad que posea un teléfono móvil?

10. ¿Que hace usted con sus teléfonos móviles, al final de la vida económica de estos?
 todavía los conservo los llevo a una facilidad de reciclaje
 los dono a terceras personas los deposito al zafacón

11. ¿Tiene conocimiento de que los teléfonos móviles poseen sustancias tóxicas que pueden causar daño a la salud humana y al medio ambiente, al ser dispuestos en vertederos?
- si no
12. ¿Tiene conocimiento de que las baterías de los teléfonos móviles poseen sustancias tóxicas que pueden causar daño a la salud humana y al medio ambiente, al ser dispuestos en vertederos?
- si no
13. ¿Tiene conocimiento de que las baterías de los teléfonos móviles están clasificadas como desperdicios peligrosos universales?
- si no
14. Si las agencias de gobierno o las compañías de telefonía móvil, le brindara la posibilidad de depositar sus unidades en centros de acopio; ¿Estaría dispuesto a llevar su teléfono para que sea dispuesta de manera ambientalmente segura?
- si no
15. ¿Estaría dispuesto(a) a pagar un impuesto por la recolección de la unidades?
- si no
16. Si contesto que si a la pregunta anterior; ¿cuanto estaría dispuesto a pagar?
- 0-\$5.00 \$11.00-\$15.00
 \$6.00 - \$10.00 mas de \$15.00
17. ¿Cual es su genero?
- masculino femenino
18. ¿Que edad tiene?
- 0-15 26-35 mas de 51
 16-25 36-50
19. ¿Cual es su preparación académica?
- escuela elemental escuela superior maestría
 escuela intermedia bachillerato otro _____
20. ¿Cual es su ingreso anual?
- 0-\$5,000 \$15,000-\$25,000 \$35,000-\$50,000
 \$5,000-\$15,000 \$25,000-\$35,000 \$50,000 o mas

Gracias por su tiempo

**APÉNDICE 6: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE LA BALANZA
UTILIZADA DURANTE LA RECOLECCIÓN DE DATOS.**