

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

**EVALUACIÓN DE LOS NÍVELES DE METALES CONTENIDOS EN LAS  
BATERIAS DE TELÉFONOS CELULARES QUE SON DISPUESTOS EN  
LOS VERTEDEROS DE PUERTO RICO: EXTRAPOLACIÓN DE UNA SUB-  
POBLACIÓN DEL ÀREA NORTE**

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

Por  
José E. Rivera Cosme

Mayo, 2008

## DEDICATORIA

*A mi madre y a mi esposa.  
Mami eres mi inspiración y mi sostén,  
gracias por estar a mi lado cuando más te necesite.  
Marlin, mi musa en la vida y  
el bastón que me ayuda a caminar a lo largo  
de este viaje.*

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco primeramente a mi Señor por darme las facultades y capacidades para desarrollar este proyecto. También les agradezco a todas las personas que de una forma u otra me ayudó a realizar este proyecto. Agradezco grandemente a la Dra. Beatriz Zayas por darme el primer empujón para comenzar a trabajar con este tema y ser mi mentora. Al Dr. Juan C. Musa por ser parte de mi comité y ayudarme a refinar este estudio. A Christian Vélez, MSEM, por darme consejos claros para definir el trabajo y por apoyarme a realizarlo.

Un profundo agradecimiento a todos los profesores de la facultad de la Escuela de Asuntos Ambientales de La Universidad Metropolitana que de una manera u otra le brindaban el apoyo necesario para seguir adelante con el trabajo. También por darme la oportunidad de aprender y ayudarme a desarrollarme aun más como profesional.

Agradezco al personal de Prime Outlets Puerto Rico quienes me permitieron realizar la encuesta en sus facilidades. A Catherine Pasquinucci, Gerente, y a su equipo de trabajo, su secretaria, el personal de servicio al cliente y los oficiales destacados en ese momento.

Le agradezco profundamente a mis compañeros de estudios y de trabajo por que también forman parte de este trabajo. A mi amigo y compañero Carlos Sotomayor, quien siempre tenía una palabra de aliento cuando creía que no lo lograría y sobre todo por sus consejos para completar este trabajo. A Edgardo Morales por sus consejos y ayuda. A mi compañero Andy Pérez, quien de una u otra manera me ayudo a acabar este trabajo.

Y no menos importante a mi familia. Mi esposa Marlin Vélez, quien me apoyó incondicionalmente en este trabajo. A mi madre María Cosme por ser mi ejemplo y ser mis ganas de superación. A mis hermanas Luz M. Rivera y María M. Rivera, quienes forman parte de mi inspiración y me brindaron su cooperación. A todos mil gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	x
<b>LISTA DE APÉNDICES</b> .....	xi
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS</b> .....	xii
<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv

### **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

Trasfondo del problema .....	1
Problema de estudio .....	4
Justificación .....	6
Pregunta de investigación .....	8
Metas .....	8
Objetivos .....	8

### **CAPÍTULO II: REVISION DE LITERATURA**

Trasfondo histórico .....	10
Marco teórico .....	15
Historia del teléfono celular .....	16
Componentes del teléfono celular .....	17
Baterías usadas por los teléfonos celulares .....	18
Mercado de baterías de teléfonos celulares desde el año 1995 al 2006 .....	20
Contenido de las baterías .....	21
Batería de Níquel-Cadmio .....	21
Batería de Níquel-Metal Hidruro .....	22
Batería de Ion de Litio .....	23
Metales peligrosos contenidos en las baterías de teléfonos celulares que representan un impacto ambiental .....	25
Alternativas y métodos de reciclaje para las baterías de teléfonos celulares .....	33
Vertederos de Puerto Rico: Estudio de caso del Vertedero de Vega Baja .....	34
Vertederos y baterías de teléfonos celulares .....	36
Estudio de casos .....	37
Marco legal .....	40

### **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

Introducción .....	46
Área de estudio .....	46
Descripción de la población y muestra .....	47
Objetivo #1 .....	48
Método .....	48
Objetivo #2 .....	48

Método .....	49
Objetivo #3 .....	49
Método .....	49
Objetivo #4 .....	50
Método .....	50
Objetivo #5 .....	51
Método .....	51

#### **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Introducción.....	52
Estimar la cantidad de teléfonos por hogar, estimar la frecuencia de cambio de la unidad móvil y estimar el número de usuarios que puedan estar disponiendo los teléfonos celulares en Puerto Rico .....	53
Estimar la cantidad de celulares y baterías dispuestas en los vertederos desde el año 2000 al 2006 .....	58
Evaluar el riesgo potencial de la presencia de metales procedentes de las baterías en los vertederos para determinar el impacto al ambiente .....	59
Riesgos a la salud debido a los metales contenidos en las baterías de los teléfonos celulares .....	62
Preparar un método de divulgación con la información encontrada de manera que sirva para educar a las personas sobre el problema de la disposición de las baterías de los celulares en los vertederos .....	66

#### **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusiones .....	67
Recomendaciones .....	69
Limitaciones .....	70

#### **LITERATURA CITADA.....**

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Datos sociodemográficos: Sexo .....	79
Tabla 2.	Datos sociodemográficos: Edad .....	80
Tabla 3.	Datos sociodemográficos: Educación.....	81
Tabla 4.	Teléfonos celulares por hogar.....	82
Tabla 5.	Frecuencia con la que se cambian los teléfonos celulares por individuo .....	83
Tabla 6.	Cambio de batería durante el servicio celular .....	84
Tabla 7.	Cambio de batería durante el servicio celular .....	85
Tabla 8.	Uso del teléfono fuera de servicio .....	86
Tabla 9.	Conocimiento sobre el reciclaje del teléfono celular y sus componentes ....	87
Tabla 10.	Conocimiento sobre la peligrosidad de algunos de los componentes de los teléfonos celulares .....	88
Tabla 11.	Disponibilidad para reciclar los teléfonos celulares y sus componentes de tener la accesibilidad.....	89
Tabla 12.	Teléfonos celulares y baterías de teléfonos celulares depositadas en los vertederos de Puerto Rico .....	90
Tabla 13.	Cantidad de baterías de teléfonos celulares depositadas en los vertederos de Puerto Rico .....	91
Tabla 14.	Peso de los Principales componentes de las baterías de Níquel – Cadmio ..	92
Tabla 15.	Peso de los Principales componentes de las baterías de Níquel – Metal Hidruro .....	93
Tabla 16.	Peso de los Principales componentes de las baterías de Litio .....	94
Tabla 17.	Cantidad de los principales metales de las baterías de Níquel – Cadmio depositadas en los vertederos desde el año 2000 al 2006 .....	95
Tabla 18.	Cantidad de los principales metales de las baterías de Níquel – Metal Hidruro depositadas en los vertederos desde el año 2000 al 2006 .....	96

Tabla 19. Cantidad de los principales metales de las baterías de Litio depositadas en los vertederos desde el año 2000 al 2006.....	97
Tabla 20. Concentraciones mínimas de riesgo diarias de los metales contenidos en las baterías de los teléfonos celulares (ATSDR) .....	98
Tabla 21. Concentración de los metales contenidos en las baterías de los teléfonos celulares depositados en los principales vertederos de Puerto Rico .....	99



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vertedero de Vega Baja .....	101
Figura 2. Pozos localizados en el pueblo de Vega Baja.....	102
Figura 3. Personas encuestadas por Género .....	103
Figura 4. Edades de las personas encuestadas .....	104
Figura 5. Cantidad de teléfonos por hogar .....	105
Figura 6. Frecuencia de cambio de los teléfonos celulares en P.R. ....	106
Figura 7. Tipos de baterías utilizadas por los teléfonos celulares .....	107
Figura 8. Uso del teléfono celular fuera de servicio .....	108
Figura 9. Conocimiento del reciclaje del teléfono celular y sus componentes .....	109
Figura 10. Conocimiento sobre la peligrosidad de algunos de los componentes de los teléfonos celulares .....	110
Figura 11. Disponibilidad para el reciclaje de los teléfonos celulares y sus componentes .....	111
Figura 12. Teléfonos celulares y baterías de teléfonos celulares depositados en los vertederos de P.R. por año .....	112
Figura 13. Mercado de baterías (%) de los teléfonos celulares del 2000 al 2006 .....	113
Figura 14. Mercado de baterías (en unidades) de los teléfonos celulares desde el año 2000 al 2006 .....	114
Figura 15. Cantidad de basura depositada en los principales vertederos de Puerto Rico .....	115

## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1.	Carta de ayuda a Prime Outlets .....	117
Apéndice 2.	Cuestionario .....	118
Apéndice 3.	Tabla de Stephen y Michael .....	119
Apéndice 4.	Carta de autorización del IRB.....	120
Apéndice 5.	Gráfica del Mercado de baterías .....	121
Apéndice 6.	Panfleto (Objetivo 5.) .....	122

## LISTA DE SÍMBOLOS O ABREVIATURAS

ADS	Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico
ATSDR	Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
ELA	Estado Libre Asociado de Puerto Rico
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América
FCC	Federal Communications Commission
FDA	Food and Drug Administration
IPMI	Internacional Precious Metals Institute
IRB	Institucional Review Board
JCA	Junta de Calidad Ambiental del Estado Libre Asociado de Puerto Rico
Li – Ion	Batería de Ion de Litio
Ni – Cd	Batería de Níquel Cadmio
Ni – MH	Batería de Níquel Metal Hidruro
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PCB	Polychlorinated biphenyls
RCRA	Resource Conservation and Recovery Act
USGS	United States Geological Survey

## RESUMEN

El mercado de teléfonos celulares es uno de rápido crecimiento a nivel mundial y Puerto Rico no es la excepción. Los avances tecnológicos hacen que el tiempo de vida de estos aparatos cada día sea menor. Dada la gran cantidad de aparatos activos en estos momentos y muchos que ya no lo están son varios los que van a parar al zafacón. Cada uno de estos aparatos entran al vertedero con una batería que puede ser de Ion de Litio, Níquel – Metal Hidruro o de Níquel – Cadmio. Cada una de estas baterías está compuesta de metales pesados que poseen características de peligrosidad y que representan un potencial daño a la salud y al medio ambiente. Metales como el cadmio, níquel, manganeso, cobalto, aluminio y litio forman parte de la composición de estas baterías. La meta de nuestro estudio consistió en estimar la cantidad de baterías de teléfonos celulares que llegan a nuestros vertederos diariamente y establecer una comparación entre las cantidades mínimas de riesgo y la concentración que se estimó fue depositada a diario en el sistema de relleno sanitario. Como parte de este trabajo se determino que un 85.6 % de los teléfonos celulares y sus baterías son depositados en los vertederos de nuestro país. Además, luego de estimar la concentración de los metales que esta llegando a los vertederos de nuestro país desde el año 2000 al 2006 como consecuencia de la disposición de las baterías de los teléfonos celulares podemos concluir que representan un potencial riesgo a la salud y al medio ambiente. Estas concentraciones sobrepasan las métricas establecidas por la ASTDR. También concluimos que hace falta educación a las personas sobre este tema y que hay un entusiasmo de parte del ciudadano para reciclar las baterías de los teléfonos celulares si estos cuentan con las herramientas adecuadas. Por otro lado, queremos darle al público información sobre la disposición de las baterías de los teléfonos celulares en nuestro país y como podemos trabajar sobre esta acción.

## ABSTRACT

The cell phone market is growing fast around the world and Puerto Rico is not an exception. New technology changes reduce eventually the life of this apparatus. Many of these cell phones are active now but soon they went to the landfills. Every cell phone carried a battery with. Cell phone uses batteries of Li-Ion, Ni-MH and Ni-Cd. These batteries are made of heavy metals with hazardous qualities that represent a potential risk to health and the environment. Cadmium, cobalt, nickel, manganese and lithium are some of these metals. The objective of this study is to determine the quantity of batteries cell phones arriving to the most used Puerto Rico's landfills. And to compare the concentration of the batteries metals landfilled daily with the minimal risk levels permitted by ATSDR. We determined that 85.6 % of the cell phones in Puerto Rico will soon arrive to the landfills. After estimated the daily metals concentrations of cell phones batteries and comparing with the ATSDR MRL's we conclude that the concentration of cadmium, cobalt, nickel, manganese and lithium exceeds ATSDR parameters. This represents a potential risk to health ant the environment of the communities near these landfills. We also conclude, that public needs more education about this particular theme. By the other hand, people said that they will recycle the batteries cell phones if they have the facilities to do it. In these work we present a brochure with information about the study achieved and some recommendations in order to help people to understand the cell phones batteries management.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **Trasfondo del problema**

La generación de desperdicios sólidos en Puerto Rico ha sido un problema de discusión desde hace varios años. Ha pesar de esto continuamos con el método tradicional de disposición que son los vertederos. Enterrar la basura ha sido hasta el momento la única solución viable por la que hemos optado. Siendo nuestro país uno de los mayores productores de basura en todo el mundo y teniendo una media de 3.91libras de basura diaria por cada habitante (Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico, 2004).

Uno de los mayores problemas con los vertederos de nuestro país se basa en la ubicación de los mismos. La mayoría de estos se encuentran en sumideros, humedales y cercano a abastos públicos de agua. Pero, más grave aun es que la inmensa mayoría de estos no cumplen con las especificaciones y estándares del subtítulo D del “Resource Conservation and Recovery Act” (RCRA). Este ultimo, establece las disposiciones para la ubicación, diseño, manejo, monitoreo y requerimientos de cierre de los vertederos. Dada estas razones los vertederos de nuestro país, en su mayoría, permiten un acceso directo del lixiviado producido a nuestros abastos de agua (Miranda y Hale, 1999). Según la Junta de Calidad Ambiental (JCA) y la Autoridad para el Manejo de los Desperdicios Sólidos (ADS) mencionan que de los 65 vertederos en la isla solo 63 cumplen con las reglamentaciones de RCRA (Cerame, 2001). Esto equivale a un riesgo

potencial a nuestra salud y al medio ambiente; siendo apoyado por nuestra conducta consumerista.

Cada país tiene características propias y culturales. Puerto Rico en los últimos años se ha caracterizado por ser uno de los mayores consumidores del mundo. Siendo esta es una de las razones primordiales para que la generación de basura sea tan alta en nuestro país.

Como mencionamos anteriormente las generaciones cambian sus estilos de vida y así sus necesidades. A nivel mundial la utilización de equipos electrónicos ha crecido enormemente ocasionando un serio problema, y Puerto Rico no es la excepción. Para el año 2000 en los Estados Unidos se generaron cerca de 2.12 millones de desperdicios electrónicos del cual el 91 por ciento de estos permanece almacenado en los hogares o son depositados en la basura (Ritchie, 2004). Esto significa que la mayoría de los desperdicios electrónicos están llegando de una manera u otra a los vertederos.

La composición de la basura electrónica, conocida como “e-Waste”, es de computadoras, monitores, copiadoras, máquinas de fax, impresoras, televisiones y juegos de video (Ritchie, 2004). Además de estos componentes se encuentran los teléfonos celulares que junto a las computadoras y los televisores representa la mayor porción de los desperdicios electrónicos (Modesitt y Gilbert, 2005). La mayoría de estos productos contiene componentes que pueden ser considerados desperdicios peligrosos. Como es el caso de los teléfonos celulares y los monitores de computadoras que contiene plomo, cadmio, bario, mercurio, arsénico y otros “Polychlorinated biphenyls” (PCB’s) (Ritchie, 2004).

Fishbein (2002), describe a la sociedad de los años noventa como la sociedad “wireless” o sea la sociedad inalámbrica. Esto básicamente por el uso de los celulares y equipos que poseen la capacidad de hacer sus funciones sin necesidad de estar conectados por un cable. Desde el año 1984 los celulares se han desarrollado y evolucionado para cumplir con las expectativas de los clientes y consumidores de sus servicios. Aunque esos teléfonos eran del tamaño de una maleta pequeña (Lipscomb, Totten, Cook y Lesch, 2007). Una de las características primordiales de los celulares modernos es su portabilidad. En el 1984 el peso promedio de un celular era de 5 kilogramos, luego en el 1985 era de 770 gramos, 349 gramos en el 1989 y en el 2001 cerca de 75 gramos o menos (Basel Convention, 2006). Esto gracias a los avances tecnológicos y a la reducción en tamaño del dispositivo de energía. Además de esta cualidad en los últimos años a los celulares se les han dado otras cualidades y beneficios para sus usuarios como lo son el acceso al Internet, estilos que pueden almacenar música, sirven de cámaras digitales con su flash incluido y otros modelos que sirven como agenda electrónica. Estas nuevas características de los celulares son las que aumentan su viabilidad y utilidad para muchas personas que inclusive optan por dejar el servicio tradicional y obtener el servicio celular.

Jacoott (2005), señala que el año 2004 se vendieron cerca de 674 millones de celulares en todo el mundo lo que equivale un 30 por ciento más que en el año 2003. Si la vida útil de cada celular continua siendo de 18 meses (Fishbein, 2002) la cantidad de celulares que serian sacados fuera de servicio alcanzarían cerca 449 millones. Y, ¿adonde van a parar tantos teléfonos celulares?

A finales del año 2005 la cifra de usuarios de teléfonos celulares en los Estados Unidos era de 207.9 millones lo que equivalía a un incremento de 14 por ciento



comparado con el año 2003 (Nystedt, 2006). En nuestro país la cifra de usuarios para el año 2004 era de 2,076, 698 mientras que en el año 2003 era de 1, 631,266 (“Federal Communications Commission”, 2006). Esto equivale a un incremento de 27 por ciento. Este dato nos coloca en segunda posición en los Estados Unidos, empatados con el estado de New Jersey y cerca del 28 por ciento obtenido por el Distrito de Colombia, quien ocupa la primera posición (FCC, 2006).

### **Problema de Estudio**

La cantidad de usuarios de teléfonos celulares puede estar afectando a la isla si están depositando estos dispositivos de comunicación en el sistema de recolección de basura de Puerto Rico que eventualmente van a ser enterados en alguno de los vertederos que quedan disponibles. Como antes mencionamos; estos sistemas de rellenos sanitarios en su mayoría, no cumplen con los requisitos del Subtitulo D del RCRA.

En el estado de California se estima que cerca de 45,000 teléfonos celulares son tirados a la basura diariamente (Sidener, 2004). Siendo esto un serio problema debido al alto nivel de metales pesados que contiene tanto el “handset” como su dispositivo de energía, la batería recargable. Esta última representa una fuente potencial de contaminación si no se dispone correctamente. Las baterías utilizadas durante los últimos años en los teléfonos celulares son de Ni – Cd, Ni – MH, e Li – Ion. Cuando los celulares y sus componentes no son reciclados eventualmente terminan en las facilidades de desperdicios sólidos (U.S. Geological Survey, 2006). Además estas contienen metales que pueden significar un riesgo potencial a la salud si entran en contacto con los abastos de agua cercanos a los vertederos.

Los primeros modelos de celulares estuvieron en función gracias a las baterías de Ni – Cd. Estas fueron remplazadas por las baterías de Ni – MH e Li – Ion; que al igual que la primera contienen metales pesados que poseen características toxicas. Aunque en menor grado que las de níquel-cadmio (Basel Convention, 2006). Las baterías de Ni – Cd están constituidas por metales como cadmio, níquel, pequeñas cantidades de cobalto, compuestos de litio, tierras raras (Lantano, Cerio, Praseodimio, Neodimio), hidróxido de litio, sodio y/o potasio. Las baterías de Ni – MH están compuestas por níquel, cobalto, tierras raras (Lantano, Cerio, Praseodimio, Neodimio), compuestos de litio, aluminio, manganeso y sus compuestos, hidróxido de litio, sodio y/o potasio. Y por último las baterías de Li – Ion están hechas de níquel, cobalto, compuestos de litio, cobre, aluminio, manganeso, solventes orgánicos y carbón, grafito.

El cadmio, níquel, cobalto, zinc, cobre, aluminio, manganeso y el litio se encuentran dentro de la lista de químicos tóxicos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en ingles) bajo el programa del “Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act” (CERCLA). Que tal si estos metales están llegando al sistema de vertederos de nuestro país, como por ejemplo al vertedero del pueblo de Vega Baja que es uno que carece de varios métodos de control de contaminación. Este vertedero opera en este pueblo desde el año 1978 sin las debidas especificaciones requeridas por el subtítulo D del RCRA. Entre las deficiencias que este vertedero aun poseía en el año 2004 se encuentran la carencia de un sistema de control de escorrentías de agua pluvial, un sistema de recolección de lixiviado en charcas de retención, pozos para el monitoreo de lixiviados y un sistema para muestreo de gases explosivos (Operación Cumplimiento, 2004).

Todas estas deficiencias significan un alto grado de posible contaminación a las aguas tanto subterráneas como también las aguas superficiales que se verían afectadas por las escorrentías aguas pluviales en esta área que estudiaremos en este trabajo.

### **Justificación del estudio**

Puerto Rico contaba con cerca de 2, 076, 698 usuarios de teléfono celulares en el año 2004 con una razón de crecimiento de 27 por ciento (FCC, 2006), al finalizar el año 2006 deben de haber cerca de 3, 349, 506 en la isla. Si la vida útil de estos teléfonos es de 18 meses, en un año quedarían “inservibles” cerca de 2, 233, 004 celulares. Según Fishbein (2002), las baterías de los celulares se deben de cambiar una vez durante su vida útil lo cual duplicará la cantidad de estas. La cantidad estimada, aunque pudiera estar exagerada, representaría un gran número de desperdicios que se estarían depositando en los vertederos de nuestro país.

La cantidad de los componentes tóxicos que estarían llegando a las áreas de disposición crecería notablemente aunque las baterías de los teléfonos celulares en los últimos años son menos tóxicas. Evitar la entrada de estos teléfonos al sistema de basura sería una gran aportación a nuestra sociedad.

En varios estados de los Estados Unidos como California se han aprobado leyes para la prohibición del depósito de estos aparatos a los sistemas de recolección de desperdicios sólidos y se han elaborados los mecanismos necesarios para el reciclaje de los mismo. Tanto para la reutilización de los mismos como para la refabricación de las baterías. Existen compañías sin fines de lucro que se dan a la tarea de realizar la

recolección de las baterías y celulares que se descartan. Otras se encargan de la recuperación de los metales de las baterías y celulares (Kierkgaard, 2007).

En Puerto Rico no hay compañías o entidades dedicadas a la recolección de estos aparatos y sus componentes lo que agrava la situación. A esto le podemos añadir la monopolización de las compañías de teléfonos celulares. Cambiar de compañía de celular implica no poder usar el teléfono que tenías debido a que la programación del teléfono celular varía de compañía en compañía. Otra razón importante es que si extravías el teléfono celular y posees un modelo “viejito” no puedes activarlo por la sencilla razón de que la frecuencia ya no es la misma. En resumen las compañías de teléfonos celulares no esta cooperando con el rehúso del equipo y lo que promueven es que los teléfonos terminen guardados en algún lugar de la casa o tirados en la basura.

En Puerto Rico la ADS lanzó una propuesta donde dividió a la isla en 8 regiones, adquirirán recipientes especializados para el recogido de estos equipos y además dará adiestramiento al personal de coordinación de reciclaje (ADS, 2003). El problema con los teléfonos celulares es uno que ha estado presente en las agencias del gobierno, pero como todo lo que plantean se queda en el aire no pude encontrar información que apoyara el propuesto plan de reciclaje que es una pieza clave para que los teléfonos celulares no lleguen a nuestros vertederos. Cabe señalar que pasar la vista larga sobre estos asuntos tendría un grave impacto a la salud humana si estos materiales tóxicos entran en nuestros abastos de agua.

No obstante el cuantificar o estimar la cantidad de teléfonos celulares que pueden o podrían llegar a los vertederos ayudaría a realizar una estimación de la cantidad de metales tóxicos que están llegando a disponerse en los depósitos de basura. Hacer esta

información pública ayudaría a que las personas comprendieran al riesgo que se están exponiendo al hecho de tirar a la basura sus teléfonos celulares. Pero esto debe de ir de la mano con un verdadero plan que sea viable y que permita de la recolección de la inmensa mayoría de los teléfonos y de sus baterías para poder decir que estamos trabajando con este problema.

### **Pregunta de investigación**

1. ¿Qué cantidad de baterías de teléfonos celulares es depositada en los vertederos de Puerto Rico y como esta práctica puede afectar a los puertorriqueños?
2. ¿Cuál es el riesgo potencial de la disposición de las baterías de los teléfonos celulares?

### **Meta**

Realizar un estudio sobre la disposición de baterías de celulares en los vertederos de nuestro país y los efectos potenciales que estas tienen en el ambiente y a la salud humana. Además de preparar un instrumento de educación como medida para enfrentar este problema y ayudar al ciudadano.

### **Objetivos**

1. Estimar la cantidad de teléfonos por hogar en Puerto Rico, estimar la frecuencia de cambio de la unidad móvil y estimar el número de usuarios que puedan estar disponiendo los teléfonos celulares.

2. Estimar la cantidad de celulares y baterías dispuestas en los vertederos desde el año 2000 al 2006.
3. Estimar la cantidad de metales que están llegando a estos vertederos mas importantes de Puerto Rico desde el 2000 al 2006.
4. Evaluar el riesgo cualitativo de la presencia de metales procedentes de las baterías en los vertederos para determinar el impacto potencial al ambiente.
5. Preparar un método de divulgación con la información encontrada de manera que sirva para educar a las personas sobre el problema de la disposición de las baterías de los celulares en los vertederos.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **Trasfondo histórico:**

Las necesidades de nuestra creciente población se ven reflejadas en la manera en que arrojamamos basura a nuestros vertederos. Según la ADS de Puerto Rico (2003), nuestro país se ha caracterizado por el problema de la disposición inadecuada de los desperdicios sólidos. El crecimiento poblacional, nuestros patrones de consumo, la ubicación geográfica de la isla y la escasez de terrenos adecuados para la disposición de los residuos sólidos son las principales razones para el problema existente de la disposición de los desperdicios sólidos en la isla. Otro dato importante y significativo es que la razón de generación de los desperdicios va mas acelerada que la razón de crecimiento de la infraestructura disponible. Además la falta de un buen plan para el reciclaje de componentes no tradicionales como los equipos electrónicos empeora la situación.

En el año 1993 en la isla existían alrededor de 64 vertederos. En ese mismo año y debido a las enmiendas que se realizaron a la ley RCRA quedaron en servicio cerca de 31 vertederos. La mayoría de estos operan con varias limitaciones y fuera de los nuevos reglamentos. Aun así estos vertederos o sistemas de relleno sanitarios siguen recibiendo los desperdicios sólidos.

Para el año 1994 se generaban cerca de 45,609 toneladas de desperdicios sólidos semanales; mientras que en el año 2003 esta cantidad aumento a 49,463 toneladas semanales que se distribuyeron entre los vertederos disponibles en ese entonces. No

obstante la cantidad de desperdicios domésticos equivale al 71.5% del total presentado (ADS, 2004).

Al igual que se ha incrementado la población se ha incrementado el consumo, la basura y las necesidades y la dependencia de los equipos electrónicos. Según Neira, et al., (2006), la basura electrónica representa un rango amplio y creciente de los aparatos electrónicos durante las últimas dos décadas como un subproducto de la revolución de la informática y la alta tecnología. Desde los teléfonos celulares, los juegos de video, los televisores y las computadoras; la chatarra electrónica ocupaba el renglón mas alta de crecimiento en la corriente de basura (Neira, et. all; 2006). Es por esto que los equipos electrónicos representan un problema serio cuando entran al flujo de los desperdicios domiciliarios. De acuerdo con la EPA (2000) mas de 4.6 millones de toneladas de equipos electrónico terminan en confinamiento en los Estados Unidos y luego pasan a ser parte de la basura municipal. La Internacional Association of Electronics Recyclers (IAER) (2003), define equipo electrónico como un producto o aparato el cual depende de un circuito eléctrico, dispositivos semiconductores (circuitos integrados, transistores, diodos), componentes pasivos (resistores, capacitores, inductores), componentes electro-ópticos, (CRTs, LEDs, CCDs, laser, etc.), sensores (transductores, dispositivos MEMs) y empaquetadura electrónica (tarjetas de circuitos impresos, conectores) para realizar sus funciones. La EPA reporto que el 1% de los desperdicios municipales son desperdicios electrónicos (EPA, 1996). Son estos tipos de aparatos los que nos ayudan y cubren las necesidades individuales de cada persona, pero por consiguiente crean un serio problema de manejo a la hora de disponer de los mismos y peor aun si no se manejan como es debido.



Ejemplo de esto, es la situación de la necesidad de poseer un teléfono celular hoy en día. Ya sea para trabajar o el mero hecho de poseer uno porque están de moda (Sidener, 2004). Otra de las razones primordiales del uso del teléfono celular recae en las nuevas opciones que estos presentan. Según Sidener (2004), características como la pantalla a color, la cámara o la habilidad de los teléfonos de poder bajar tonos y sonidos; hacen que los teléfonos celulares parezcan obsoletos en un periodo de tiempo corto. Además opciones como la cámara de video, el acceso al Internet, el organizador personal, la alarma y los juegos son por consiguiente características adicionales que hacen del teléfono personal un aparato útil. El diseño de estos equipos y la importancia de la industria en la reducción de costos afectan significativamente la vida útil de estos aparatos (Bassel Convention, 2006). Actualmente la vida útil del teléfono celular ronda cerca de 18 meses (Fishbein, 2002).

Los teléfonos celulares son pequeños en la actualidad y tienen un peso promedio de menos de cien gramos lo que representa una cantidad menospreciable de basura por unidad. Pero cuando esta pequeña unidad se suma con billón de teléfonos celulares alrededor del mundo, esta representa una fuente amplia de desperdicios peligrosos. La combinación entre altas razones de producción y la corta vida útil del aparato crean un excelente escenario para el dramático crecimiento del número disponibles de teléfonos celulares (Neira et. al., 2006). Además, los cambios rápidos en los sistemas celulares y los avances tecnológicos incorporados a estos han contribuido a la disposición prematura de teléfonos en buenas condiciones. A esto le añadimos que reparar un telefono celular sale mas caro que comprar una unidad nueva ( Monteiro, Moreira, Chinelatto, Nascentt y Alcentora, 2007).

Para el año 2000 en la isla habían cerca de 757,613 unidades de teléfonos celulares, en el año 2001 se registraron 1,128,736, en el año 2002, 1,516,808 en el año 2003 1,631,266 y para el año 2004, 2,076,698 teléfonos celulares según la FCC (2005). La EPA asegura que los teléfonos celulares son un renglón considerable dentro de los desperdicios electrónicos y además representan un peligro ambiental. En los Estados Unidos la EPA estimaba que para el año 2005 los teléfonos celulares serían dispuestos a razón de 130 millones anuales lo que equivale a 65,000 toneladas de basura (EPA, 2003). En el año 2002, se estimaban que cerca de 40 a 50 millones de celulares terminaban de dos formas, guardados en un armario o tirados en la basura (New Yorks Time, 2002). Fishbein (2002) dice que la mayoría de los teléfonos que son almacenados en los armarios terminan entrando a la corriente de basura lo que le crea una carga adicional al gobierno en el manejo de la disposición de estos ya sea que se incineren o terminen en los vertederos. El gobierno tiene un gran papel, a través de la historia, en gestionar leyes y crear programas que respalden y ayuden a la calidad de vida. Según Neira ( 2006), la falta de información y el miedo de las personas a preguntar sobre el mejor método de disposición para los aparatos electrónicos hacen que estos equipos continúen llegando al flujo de desperdicios y continuaran aumentando este problema.

En un estudio que realizó, el profesor de la Universidad de Florida, Tim Townsend para la EPA (2004), concluyó con que los teléfonos celulares deben estar clasificados como desperdicios peligrosos por la agencia federal. El proyecto de Townsend consistió en hacer prueba de metales pesados y peligrosos a los teléfonos celulares. Entre estos se encontraban arsénico, cadmio, antimonio, berilio, plata, selenio, cromo y plomo. El profesor asegura que uno de los problemas mayores recae sobre el

plomo; este último excedió el parámetro permitido por la EPA de 5 miligramos por litro en 28 de los 38 teléfonos que fueron muestreados. Además del plomo se conoce que los teléfonos celulares tienen arsénico, cadmio, antimonio, berilio, cobre, níquel y mercurio (EPA, 2004). Estos metales se encuentran principalmente en el “handset” del teléfono celular. La batería de cada aparato representa otro foco de contaminación. Según Correira y Martín (2004) las baterías de estos teléfonos representan un riesgo adicional al que posee el “handset”.

La mayoría de estos aparatos en el principio de su existencia utilizaban baterías de níquel-cadmio. Con el pasar de los años estas baterías fueron reemplazadas por baterías de níquel-metal hidruro y baterías de ión de litio. Estas baterías están confeccionadas de otros materiales que se encuentran en la lista de materiales peligrosos de la EPA. Entre esos elementos peligrosos se encuentran, el cadmio, níquel, cobalto, tierras raras (Lantano, Cerio, Praseodimio, Neodimio), compuestos de litio, zinc, cobre, aluminio, hidróxido de litio, sodio y/o potasio, solventes orgánicos (éter), carbón (grafito) (Correira y Martín, 2004). La preocupación mayor del EPA es que los compuestos o metales peligrosos de estas baterías puedan infiltrarse a los ambientes acuáticos y causen daño tanto al ambiente como a la salud humana (Bryant, 2003). Muchos de los químicos presentes en los teléfonos celulares son químicos peligrosos listados por la EPA como toxinas persistentes y bioacumulativas. Esto gracias a que poseen características como una vida larga, se acumulan en tejidos de animales y pueden entrar a la cadena alimentaria y están asociados con cáncer, desórdenes reproductivos, desórdenes neurológicos y desórdenes de desarrollo

## **Marco teórico**

La telefonía móvil, con más de dos décadas desde su introducción, se ha convertido en un instrumento familiar en la vida moderna y ha dado servicio a billones de personas a través del mundo. Este ha pasado de ser un objeto de lujo a ser una pieza importante de comunicación tras brindar servicios fuera de la cobertura tradicional o a donde los cables telefónicos no son tan accesibles. También estos han ayudado a mejorar la infraestructura privada, industrial y gubernamental. No podemos olvidar que esto millones de teléfonos celulares y sus componentes serán dispuestos en algún momento y serán reemplazados por otros.

La producción anual de teléfonos celulares es de 400 millones lo que equivaldría cerca de 40,000 toneladas de desperdicios y se duplicaría esta cantidad con las baterías, cargadores y otros accesorios. Estos teléfonos contienen plásticos, halógenos y una gran variedad de metales. Estas sustancias no representan un peligro mientras están en uso pero a la hora de disponer los teléfonos, y si se hace de una forma inadecuada, estas representan un riesgo serio. La disposición de los teléfonos celulares debe realizarse de una forma ambientalmente amigable para evitar el escape de los materiales peligrosos que puedan estar afectando tanto la salud humana como el ambiente (Internacional Precious Metals Institute, 2003).

Para entender la peligrosidad del mal manejo de la disposición final de las baterías de los teléfonos celulares debemos conocer un poco de su historia, cómo funcionan, cuáles son sus componentes, de qué están hechas las baterías de los teléfonos, a dónde están llegando las mismas, cuáles son los riesgos de los metales que estas poseen y cuál

es el riesgo de que estas entren en la corriente de basura domiciliaria y lleguen a nuestros sistemas de rellenos sanitarios.

### **Historia del teléfono celular**

En los Estados Unidos aparecen los teléfonos celulares a mediados de los años 40. Desde entonces esta nueva tecnología ha ido evolucionando para ajustarse a las exigencias de los consumidores (Basel Convention, 2006). Un teléfono celular en realidad es un radio. Su predecesor era el radio-teléfono que se usaba en los automóviles a principio del año 1940 y estaba adjunto con sistema de energía del vehículo. El servicio era ofrecido por una antena central en un área dada con solo algunos canales disponibles y la cual requería transmisiones de alta energía para distancias largas (Fishbein, 2002). Para aquel entonces la tecnología tenía un alto costo y el mercado no estaba preparado o desarrollado para su aceptación. Luego el mercado se desarrollo y hubo demanda por el servicio. Este servicio requirió el desarrollo de sistemas de antenas y torres que se encargaban de dar el servicio al teléfono celular. Este nuevo sistema de torres, conocido como bases, permitió una cobertura circular a la que llamaron “cell”. Estas torres permitieron que los sistemas se dividieran en unos más pequeños y utilizar la misma frecuencia para varios celulares. Este sistema funciona asignando una celda a el suscriptor mientras el canal es utilizado por varias personas al mismo tiempo (Neira et al., 2006).

Desde que hay varias bases en funcionamiento cada una cubre un área mas reducida lo que permite un consumo menor de energía. Por esta razón es que la batería, fuente de energía, de los teléfonos celulares se ha ido reduciendo en tamaño y por

consiguiente esto hace que el teléfono celular sea más pequeño. De aquí en adelante el teléfono celular ha reducido su tamaño significativamente lo que requiere de menos componentes para su fabricación lo que lo hace ambientalmente amigable en teoría. La primera generación de teléfonos celulares del 1984 aun eran muy grandes y pesados (4 kilogramos), contenían baterías de ácido y se cargaban en mochilas de hombro. Luego, en año 1987, el peso del teléfono se redujo a la mitad y posteriormente siguió disminuyendo hasta alcanzar los 800 gramos. Hoy en día el peso promedio de los teléfonos celulares ronda los 100 gramos sin la batería; lo cual duplica el peso (Fishbein, 2002).

Aunque la estética ha sido un factor que ha influido en el tamaño de los teléfonos celulares existen otras razones que han favorecido la reducción del volumen del teléfono celular. Esto son que la cantidad de los materiales para su construcción ha disminuido considerablemente además que ha abierto puertas para utilizar otro tipo de componentes menos peligrosos y que se pueden utilizar en métodos de reciclaje (Neira et al., 2006).

### **Componentes del teléfono celular**

Los teléfonos celulares consisten de 9 piezas básicas que son el tablero de circuito/tablero de conexión impreso, la pantalla de cristal líquido, la antena, el teclado, el micrófono, la bocina, la caja de plástico y los accesorios como los adaptadores, audífonos, protectores plásticos y tapas decorativas. Cada uno de estos componentes representa un riesgo individual (EPA, 2005). Siendo el tablero de circuitos, la pantalla de cristal líquido y la batería recargable las partes con mayor grado de impacto por el contenido de metales tóxicos. Según la EPA, (2005), el auricular consiste de 40% metales, 40% plásticos y 20% cerámica y materiales traza. Dentro de las funciones

básicas de estos componentes el cerebro de la ejecución de teléfono celular es el tablero de circuitos; ya que controla todas las funciones del aparato. Estos tableros están hechos de cobre, oro, plomo, níquel, cinc, berilio, tántalo, coltan; los cuales se adhieren al plástico que sirve de plataforma para estos. La pantalla de cristal líquido es la encargada de mostrar la información y las imágenes. Mientras que la carcasa del teléfono esta hecha de plástico y es la que se encarga de mantener todos los componentes del teléfono unidos, esto incluye a la batería. Y por último tenemos la batería recargable del teléfono celular que es la encargada de proveer la energía necesaria para las actividades y funciones del equipo inalámbrico.

### **Baterías usadas por los teléfonos celulares**

Las baterías recargables de los teléfonos celulares son esenciales para el funcionamiento del mismo. A través de los años, y al igual que el teléfono celular, estas han sufrido cambios tanto estructurales, estéticos y en sus componentes. Durante los últimos 20 años, la razón de carga necesaria por una batería recargable ha mejorado a 4 horas con una duración de hasta 10 días (Basel Convention, 2006). Esto se ha logrado gracias a que se han introducido nuevas baterías en el mercado. En una línea cronológica del uso de la batería vemos que las primeras baterías usadas por los teléfonos celulares eran de ácido y plomo. Luego estas serían reemplazadas por baterías de níquel-cadmio. Y con el pasar de los años se introdujeron baterías menos tóxicas como las baterías de níquel-metal hidruro y las baterías de ión de litio.

Si apreciamos los cambios en la tecnología de las baterías vemos que el desarrollo de estas nuevas baterías recargables se ajusta a las leyes que fueron contemporáneas en el

mercado de esos años. Leyes que hicieron posible que no se utilizaran materiales tan peligrosos en estas.

Según Fishbein (2002), para el año 2000 el mercado de baterías recargables utilizadas en los teléfonos celulares se desglosaba de la siguiente manera:

- 45% baterías de Li – Ion
- 40% baterías de Ni – MH
- 15% baterías de Ni – Cd

El cambio de baterías, según Basel Convention (2006), ha beneficiado al ambiente de tres maneras. Primeramente la reducción del tamaño de las baterías hace posible una reducción de la materia prima y de los recursos usados durante su confección. La segunda razón es la reducción de metales tóxicos y peligrosos como lo son el plomo y el cadmio. Las baterías usadas durante los últimos años utilizan materiales menos peligrosos aunque cabe señalar que existe una proporción sustancial de teléfonos celulares en el mercado y otra cantidad que permanece en desuso lo que representa un problema para análisis. Las baterías de Ni – MH utilizan una aleación de lantano, níquel, ( $\text{LaNi}_5$ ), o en menor casos una de vanadio-titanio-zirconio-níquel. Mientras que las baterías de ión de litio contiene materiales como litio y manganeso, cobalto o níquel.

La tercera razón que ayuda a la utilización de menos energía de parte del aparato es el mejoramiento en sus circuitos electrónicos. Estos operan con menores voltajes haciendo que el rendimiento de la batería sea utilizado de una manera mejor.



## **Mercado de baterías de teléfonos celulares desde el año 1995 al 2006**

Según el Madani (2003), el mercado de baterías ha sido uno cambiante según el desarrollo de la tecnología y la demanda de teléfonos celulares se ha incrementando. La cantidad estimada para el año 2006 sobrepasa los 500 millones de unidades. Para el año 1995 el mercado de baterías era dominado por las baterías de Ni – Cd con un 60%, seguida de las baterías de Ni – MH con un 35% y las baterías de Litio con un 5%. Luego en el año 1997 las baterías de Ni – Cd dejaron de ser las más utilizadas y solo tuvieron un 20% del mercado de celulares, por otro lado las baterías de Ni – MH ocuparon la primera posición con un 41% seguida muy de cerca por las Li - Ion con un 39%. Cabe señalar que esta última tuvo un alto crecimiento durante este periodo de tiempo.

En el año 1999 vemos que el mercado de baterías de Ni – Cd continua en descenso relegándose a un 6% del total mientras que las baterías de Ni – MH siguen dominando el mercado con un 54% seguida de las Li - Ion con un 40%. La tendencia en el 2003 fue de 0 % las baterías de Ni – Cd, 18% Ni – MH y 82% las baterías de Litio. Las proyecciones para el año 2006 fueron de 0% para las baterías de Ni – Cd, 7% para las baterías de Ni – MH y 93% para las baterías de Litio.

Estas distribuciones del mercado de baterías para teléfonos celulares nos sirven como una herramienta para estimar la cantidad de metales que se estuvieron depositando en los rellenos sanitarios del país. Luego de obtener la cantidad o por ciento estimado de cuantos teléfonos se han depositado a los vertederos podremos hacer una regresión para estimar la cantidad de metales peligrosos de estas baterías.

## **Contenido de las baterías**

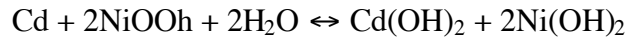
La composición básica de las baterías de los teléfonos celulares se caracteriza por la integración de metales como ingrediente activo y químicos o trazas de estos que ayudan a realizar una mejor reacción. Estas consisten de dos piezas separadas conocidas como electrodos que están elaborados de distintos metales. Luego el electrolito toca cada uno de los electrodos para que ocurra una reacción. Cuando se le aplica una corriente externa, o sea el cargador de baterías, ocurren las reacciones químicas que se dan a través de los electrodos y el electrolito (sustancia líquida) haciendo que fluya la corriente que le da la energía a la batería (EPA, 2005).

## **Batería Níquel-Cadmio**

Las baterías de Ni – Cd fueron creadas por Waldemar Jungner en el 1899. A nivel comercial se comenzó a fabricar en 1906 y fue en el 1946 que se introdujeron por primera vez en los Estados Unidos. Para el año 2000 la producción anual de baterías era de 1.5 billones. Su utilización mayor era para los productos electrónicos y durante los años 1990 era la preferida en el mercado (Rydh y Karlstrom, 2002).

Las baterías Ni – Cd tienen un electrodo positivo hecho de hidróxido de níquel y un electrodo negativo hecho de cadmio. Estos electrodos sintetizados son usados para altas tasas de descarga y los electrodos espumosos para aplicaciones de alta capacidad en corrientes bajas de descarga. A estos se les puede añadir  $\text{Co}(\text{OH})_2$  y  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  al electrodo positivo para mejorar la capacidad y vida útil de la batería.

El electrólito clásico de las baterías Níquel-Cadmio y Ni-MH es el hidróxido de potasio (KOH) (Ryth, 2003). La reacción química que ocurre en la batería de Ni – Cd es:



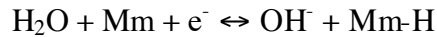
Donde la descarga de la batería ocurre de hacia la derecha y la carga ocurre hacia la izquierda (Linden, 2002). Durante la confección de la batería varios metales y compuestos son usados. Estos son (Everedy Battery Company, 2007):

- Cadmio (13-22 % del peso de la batería) y se encuentran como cadmio metálico, óxido de cadmio e hidróxido de cadmio.
- Cobalto (0.5-2 % del peso de la batería) y se encuentran como cobalto metálico, óxido de cobalto e hidróxido de cobalto.
- Hidróxido de Litio (0-4 % del peso de la batería)
- Níquel (20-32 % del peso de la batería) y se encuentran como níquel metálico, óxido de níquel, e hidróxido de níquel.
- Hidróxido de potasio (0-4 % del peso de la batería)
- Hidróxido de sodio (0-4 % del peso de la batería)

### **Batería de Níquel-Metal Hidruro**

Las baterías de Ni – MH fueron desarrolladas en el año 1980 y comercializada por la compañía Matsushita. Estas baterías son construidas por un electrodo negativo hecho de una aleación de hidrogeno y un electrón positivo de níquel. El electrodo negativo esta hecho de aleaciones AB<sub>5</sub> o AB<sub>2</sub>. La aleación AB<sub>5</sub> es la más usada en los electrodos negativos de las baterías Ni-MH. Este contiene una mezcla de lantánidos (tierras raras). Lo que equivale a un 8 - 10% del peso de la batería. La batería AB<sub>2</sub> está hecha de

zirconio o titanio más otro metal como níquel, cobalto, vanadio, manganeso, aluminio, cromo o hierro. La reacción química que ocurre dentro de la batería es la siguiente:



Donde la descarga de la batería ocurre de hacia la derecha y la carga ocurre hacia la izquierda (Linden, 2002). Durante la confección de la batería varios metales y compuestos son usados. Estos son (Everedy Battery Company, 2007):

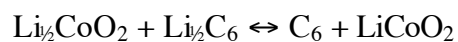
- Aluminio (<2 % del peso de la batería)
- Cobalto (2.5-6 % del peso de la batería) y se encuentran como cobalto metálico, óxido de cobalto e hidróxido de cobalto.
- Hidróxido de litio (0-4 % del peso de la batería)
- Manganeso (<3 % del peso de la batería)
- Tierras Raras (13 % del peso de la batería) como lantano, cerio, praseodimio y neodimio.
- Níquel (30-50 % del peso de la batería) y se encuentran como hidróxido de níquel, óxido de níquel y polvo de níquel.
- Hidróxido de potasio (<7 % del peso de la batería)
- Hidróxido de sodio (0-4 % del peso de la batería)
- Zinc (<3 % del peso de la batería) y se encuentran como zinc metálico, óxido de zinc e hidróxido de zinc.

### **Batería de Ion de Litio**

La batería de Li – Ion fue propuesta originalmente en los años 1960, pero no fue desarrollada hasta 1991. Esta fue creada por un grupo de investigación de la universidad

de Oxford. Las baterías hechas de litio se pueden separar en dos grupos; polímero-litio e Ion de litio.

Las baterías de polímero-litio tienen un electrodo negativo de metal de litio y un electrolito de material de polímero (PEI-LiClO<sub>4</sub>, óxido de polietileno). Por otro lado, el electrodo negativo de la batería de Ion de litio está hecho de carbón. El carbón se encuentra en variedades distintas como grafito, soda y carbón amorfo. En estas baterías el electrodo positivo de litio contiene metales oxidados de la composición de LiMeO<sub>2</sub>, donde Me denota el cobalto, níquel o manganeso. Otro compuesto de litio disponible y que tiene un mayor rendimiento al aumentar la capacidad y el número de ciclos es el LiCoO<sub>2</sub>. El óxido de níquel litiado tiene una mayor capacidad pero es inestable para la fabricación de baterías pequeñas. El otro tipo de compuesto de litio usado en las baterías es el óxido de manganeso litiado. Este tiene una menor capacidad pero es menos tóxico, estable y barato. El electrolito es un líquido orgánico llamado carbonato de polipropileno. La reacción química que ocurre en dentro de la batería es la siguiente:



Donde la descarga de la batería ocurre de hacia la derecha y la carga ocurre hacia la izquierda (Linden, 2002). Durante la confección de la batería varios metales y compuestos son usados. Estos son (Everedy Battery Company, 2007):

- Acetileno negro (0-2 % del peso de la batería)
- Bifenilo (0 – 15 % del peso de la batería)
- Carbonato de dietilo (0-15 % del peso de la batería)
- Carbonato de dimetilo (0-15 % del peso de la batería)
- Carbonato de etilmetileno (0-15 % del peso de la batería)

- Carbonato de etileno (0-15 % del peso de la batería)
- Grafito (7-22 % del peso de la batería)
- Oxido de cobalto litiado (15-30 % del peso de la batería)
- Hexafluorofosfato de litio (0-5 % del peso de la batería)
- Tetrafluoroborato de litio (0-5 % del peso de la batería)
- “N-metil pyrrolidinone” (0-1 % del peso de la batería)
- Ácido oxálico (0-1 % del peso de la batería)
- Carbonato de propileno (0-15 % del peso de la batería)

### **Metales peligrosos contenidos en las baterías de teléfonos celulares que representan un potencial de impacto ambiental**

Algunos de los metales y compuestos que forman parte de los ingredientes de las baterías podrían, en grandes cantidades, ser perjudiciales a la salud y al ambiente (Kierkegaard, 2007). La inmensa cantidad de celulares que actualmente están activos y aquellos que lo estuvieron representan una cantidad enorme y que agrava esta situación. Algunos de los metales de composición de las baterías se encuentran listados por la EPA como Químicos persistentes, bioacumulativos y tóxicos. Entre esto se encuentran el cadmio, níquel, cobre y zinc (EPA, 1998). Además metales como el cadmio, cobalto, níquel, cinc, Manganeseo y aluminio se encuentran enumerados en la lista de prioridad de Sustancias Peligrosas del (CERCLA, 2007). Según Kierkegaard (2007), metales como el níquel cadmio, cinc, cobre manganeseo, y litio pueden constituir un riesgo al ambiente y a la salud. El primero de estos componentes que aparece en la lista de CERCLA lo es el cadmio.

Este es un elemento de la corteza terrestre. Este metal puede entrar al aire por minería, quemado de carbón y por la basura domestica. Sus partículas pueden viajar grandes distancias y cuando entra a algún sistema de agua o a la superficie terrestre puede representar un serio problema. El cadmio se puede disolver con facilidad en el agua y entrar a la cadena alimenticia por plantas, pescado o animales. Este metal o puede estar en el cuerpo por varios periodos de tiempo. Las rutas de exposición al cadmio son respirarlo en ambientes contaminados de trabajo, consumo de alimentos contaminados, respirar humo de cigarrillo, beber agua contaminada y respirar aire contaminado en sitios de quema de combustibles fósiles o desperdicios municipales.

El cadmio puede causar daños severos a los pulmones o inclusive la muerte. Ingerir alimentos contaminados o agua contaminada con este causa una severa irritación del estomago para luego causar vomito y diarrea. Exposiciones altas al cadmio puede ser perjudicial para los riñones. Otros efectos a largo plazo de la exposición al cadmio son daños a los pulmones y fragilidad de los huesos. En estudios con animales a los que se les ha administrado el cadmio en sus dietas estos presentan síntomas de presión alta, perdida de hierro en la sangre, problemas de los riñones y daño a los nervios y el cerebro. Además de estos síntomas el cadmio, según el Departamento de Salud y Servicios Humano ha determinado que el cadmio y sus compuestos pueden ayudar a padecer de cáncer.

El cadmio en nuestros cuerpos se puede detectar en laboratorios de sangre, orina, pelo o uñas. Los niveles en la sangre representan una exposición reciente y en la orina se refleja una exposición reciente y pasada. La EPA tiene establecido un límite de exposición de 5 partes por billón en el agua potable. La Agencia de Drogas y Alimentos

(FDA, por sus siglas en ingles) limito el cadmio en los colorantes en 15 partes por millón. Y por otro lado la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en ingles) limita a 100 microgramos por metro cúbico el chimeneas y a 200 microgramos por metro cúbico de polvo de cadmio en las áreas de trabajo (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 1999).

Otro metal que se encuentra en cantidades significativas es el níquel. Este metal es un metal duro, blanco-plateado, que tiene propiedades que lo hacen muy deseable parar combinarse con otros metales. Entre los usos del níquel se encuentran el niquelado, colorear cerámicas, fabricar baterías en sus rancias catalizadoras. Este metal se encuentra de forma natural combinado con otros metales. El níquel entra al ambiente por chimeneas de industrias y por aguas residuales que producen estas. Una gran cantidad del níquel que se libera termina en el suelo o en sedimentos en donde se adhiere fuertemente a partículas que contiene hierro a manganeso. Las condiciones aciditas favorecen la movilización del níquel en el suelo y facilitan su filtración hacia el agua subterránea. Este parece no concentrarse en peces pero existen estudios que demuestran que este material se puede incorporar y acumular en plantas.

La ruta de exposición principal del níquel son los alimentos. El aire, tomar agua o fumar tabaco son otras rutas en las que se puede exponer al níquel. También se puede exponer por contacto directo con el suelo, agua de la ducha con metales que contienen níquel.

Algunos de los efectos a la salud del níquel es la sensibilización al metal. Existen personas que al exponerse al material pueden tener salpullidos en la piel o hasta desarrollar una dermatitis. Algunas personas que estuvieron expuestas al níquel por



ingestión de agua (250 partes por millón) sufrieron dolores de estomago y alteraciones en la sangre y los riñones. Esta concentración de níquel es 100,000 veces que la cantidad que se encuentra en el agua potable. Los efectos mas graves de la exposición de níquel son bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer en los pulmones y los senos nasales. El Departamento de Salud y Servicios Humanos ha determinado que es razonable predecir que el níquel metálico es carcinogénico al igual que sus compuestos.

En estudios realizados en animales, niveles altos de en el agua y en alimentos resultan en enfermedades de pulmón en perros y ratas y ha afectado el estomago, la sangre, el hígado, los riñones, el sistema inmunitario y la reproducción y el desarrollo de ratas y ratones. Además otros estudios realizados en ratas demuestran que el níquel puede afectar la tasa de mortalidad de las crías y disminución de peso en las crías nacidas. La exposición a níquel puede realizarse a través de exámenes en la sangre, heces u orina.

Los niveles de níquel permitidos por la OSHA es de 1 miligramo por metro cúbico en una jornada de 8 horas de trabajo. Por otro lado la EPA recomiendo que los niveles de níquel en el agua potable sean menores de 0.1 miligramos por litro (ATSDR, 2005).

Las baterías de litio han reemplazado a las baterías de Níquel-Cadmio y a las baterías de Níquel- Metal hidruro durante los últimos años. Uno de los componentes de estas es el perclorato de litio. La familia de los percloratos son sales incoloras y sin olor. Estos pueden disolverse con facilidad en el agua. Otra cualidad de estos es que a temperaturas altas pueden explotar. Entre los usos de los percloratos se encuentran

fuegos artificiales, explosivos, señales luminosas, pólvora, adhesivos, baños electrolíticos, baterías, agentes para desecar y grabado y en sistemas para generar oxígeno. Estos percloratos se han estado encontrando en lugares que antes no se hallaban. El problema de estos es que al ser solubles en agua pueden viajar grandes distancias. Hasta donde llegue el agua de lluvia también llegará el perclorato.

La ruta de entrada de los percloratos al cuerpo es por ingestión de alimentos o agua contaminada. Más del 90 % de los percloratos que son ingeridos pasan a la corriente sanguínea. Uno de los efectos de los percloratos en los humanos, es que este ataca la glándula de la tiroides inhibiendo a esta de que pueda incorporar el yodo. En animales se pudo observar también problemas con la tiroides. Un examen de orina puede mostrar niveles de percloratos en exposiciones recientes (ATSDR, 2005).

El cobalto es uno de los constituyentes presente en las baterías de los teléfonos celulares. El cobalto es un elemento que ocurre naturalmente como el níquel y el hierro. Pequeñas cantidades de este pueden ser halladas en rocas, suelos, agua, plantas y animales. El cobalto es un metal duro, gris plateado. Este se encuentra combinado con oxígeno, azufre y arsénico naturalmente. Este material se utiliza generalmente se utiliza en aleaciones, como colorantes en vidrio, cerámicas y pinturas, como catalizadores y en productos para secar pinturas y en baterías. Los colorantes de cobalto se utilizan generalmente en productos agrícolas y en medicamentos (ATSDR, 2005).

El cobalto puede entrar en el ambiente de manera natural o por actividades humanas. Este material puede entrar al agua por la lluvia que cae en área que naturalmente existe. El cobalto no puede destruirse por el ambiente. Este se puede adherir a partículas en el suelo y permanecer en el bastante tiempo. La acidez del suelo

ayuda a la movilidad del cobalto en este. El cobalto no se bioacumula en plantas o animales. La concentración de cobalto en el suelo varía de 1 a 40 partes por millón. El aire por otro lado, también contiene de forma natural cobalto (2 nanogramos por metro cúbico). La concentración en el agua puede variar desde 1 a 10 partes por billón. En la mayoría de los suministros de agua los niveles de cobalto son menores de 1 ó 2 partes por billón (ATSDR, 2004).

Los alimentos son la fuente principal de ingestión de cobalto. Este se encuentra en la vitamina B<sub>12</sub> que comúnmente se adquiere mediante la carne y los productos lácteos. Luego de ingerir el cobalto este se distribuye a todos los tejidos, pero principalmente a los riñones, hígado y huesos. El cobalto que se absorbe lentamente por el cuerpo luego pasa a la orina. Entre los efectos adversos de exposición a grandes cantidades de cobalto son la dificultad para respirar, asma, pulmonía y jadeo. En los años 1960 las cerveceras utilizaban el cobalto como estabilizadores para la espuma. Esto produjo síntomas al corazón e inclusive la muerte en personas que tomaron demasiado. Otros estudios demuestran que altas cantidades de cobalto en mujeres embarazadas afectan la salud del feto. Además el cobalto ha sido calificado por la Agencia Internacional para la Investigación de Cáncer (AIIC) como posible carcinógeno humano. En animales como las ratas la alta exposición de cobalto se tradujo a daños en los pulmones o la muerte. Además se pudo observar daños a los tejidos, corazón, riñones, hígado, la sangre, testículos y problemas de comportamiento.

Existen pruebas de sangre y orina que pueden determinar la exposición de orina luego de varios días de haberse expuesto. Un requisito para la industria de cobalto, establecido por la EPA, es que se debe de reportar liberaciones al ambiente de este

cuando sobrepasa las 1,000 libras. Además la OSHA la exposición límite para 8 horas de trabajo es de 0.1 miligramo por metro cúbico (ATSDR, 2004).

Otros elementos metálicos contenidos en cantidades menores en las baterías lo son el aluminio, el manganeso, el cobre y el zinc. A el primero se puede estar expuesto con la ingestión de alimento, agua y medicamentos. También se puede exponer a este mediante contacto con tierra, agua, aluminio metálico, desodorantes y otros compuestos que lo contengan. Estudios demuestran que el aluminio se ha relacionado con enfermedades del cerebro como el Alzheimer. Además el polvo de aluminio puede causar problemas respiratorios. En ratas el polvo de aluminio provoco grandes daños al pulmón, daños al sistema nervioso (ATSDR, 2006).

El manganeso al igual que el aluminio se utiliza en pequeñas cantidades en las baterías. Este puede ser perjudicial en cantidades altas entra a nuestro sistema varios de los síntomas del excesos de manganeso en el cuerpo son alteraciones mentales y emocionales, y movimientos lentos y faltos de coordinación. A esto se le conoce como manganismo. Esta enfermedad ataca una parte específica del cerebro que tiene que ver con los movimientos. Varios de los efectos a la exposición del polvo de manganeso es la dificultad a respirar y esto puede ayudar a contraer una infección pulmonar. Además puede resultar en impotencia. En las hembras se puede ver afectada la reproducción. El manganeso se puede medir a través de exámenes de la sangre, orina, cabello o las heces. Un examen de imagen de resonancia magnética puede también detectar la presencia de cantidades elevadas de manganeso en el cerebro. El límite de manganeso en el agua potable es de 0.05 partes por billón (ATSDR, 2000).

El cobre es otro material metálico usado en las baterías en cantidades pequeñas. Este es muy común en el ambiente y se encuentra en distintas concentraciones en el agua y el suelo. En el agua de grifo este puede estar entre 20 a 75 partes por billón. La concentración de cobre en lagos y ríos varía desde 0.5 a 1,000 partes por billón y con una media de 10 partes por billón. En el agua subterránea se encuentra en 5 partes por billón. La exposición prolongada a polvos de cobre puede irritar la nariz, la boca, los ojos y causar dolor de cabeza, mareo, náusea y diarrea. La ingestión intencional de cobre puede causar daños al hígado, los riñones y puede causar la muerte. Este se puede detectar en la sangre, la orina, las heces, el cabello y las uñas. El límite de cobre en las aguas potables debe ser menor a 1.3 miligramos por litro de agua (ATSDR, 2004).

Otro material que se utiliza en algunas de las baterías a menor escala es el cinc. El cinc al igual que el manganeso se incluye en nuestra dieta. Todos los alimentos poseen cierta cantidad. La ruta de exposición más común del cinc es los alimentos y la ingestión de agua contaminada. El cinc se puede almacenar en el cuerpo. La ingestión de cinc en niveles altos puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos. Además una exposición de meses puede producir anemia, daño al páncreas y disminución del colesterol bueno en la sangre (HDL). En experimentos con animales el exceso de cinc fue responsable de infertilidad en ratas. En ratones ratas y hurones provocaron anemia y daños al páncreas y los riñones. Durante la preñez de varias ratas varios de las crías presentaron problemas de peso. Varios de los compuestos de cinc fueron aplicados en la piel de animales (conejos, cobayos y ratones) lo que produjo una irritación en la piel de estos. La presencia de altos niveles de cinc se puede medir con exámenes de

laboratorio de la sangre, orina, heces y cabello. El límite permitido de cinc en el agua potable es de 5 miligramos por litro de agua (ATSDR, 2005).

### **Alternativas y métodos de reciclaje para las baterías de teléfonos celulares.**

Existen varias alternativas para la disposición final de las baterías recargables de los teléfonos celulares. Entre estas se encuentran los vertederos, la estabilización, la incineración y el reciclaje. El primer método consiste en la disposición de estos aparatos directamente a los vertederos o rellenos sanitarios; método que es el más utilizado. La segunda técnica es la estabilización. Esta técnica consiste en dar un tratamiento previo a la disposición de las baterías en el relleno sanitario, el cual pretende evitar que los metales pesados contenidos en los dispositivos entren en contacto con el ambiente. La incineración es otra de las alternativas existente en el tratamiento de las baterías en desuso. Esta técnica se utiliza cuando los desperdicios municipales son tratados con este método. El problema principal de este es la emisión de sustancias u metales no deseados al ambiente (Bernardes, Espinosa y Tenorio; 2004).

El reciclaje es otra de las alternativas viables en ola disposición de las baterías usadas. Esta se puede llevar a cabo mediante dos procesos conocidos como la hidro-metalurgia y la piro-metalurgias (Bernardez et. al., 2004). Las razón principal para esta última se da gracias a las nuevas políticas ambientales de varias naciones (Romano, Bernardes y Tenorio, 2004).

El proceso de hidro-metalurgia consiste en añadir una base o ácido para hacer que los metales estén en solución. Luego de esto los metales se precipitan alterando el pH de la solución o con electrolisis. También se puede llevar a cabo mediante la extracción con

solventes, siendo esta última una técnica más costo efectiva. Por otro lado la piro-metalurgia consiste de la recuperación de metales por medio de altas temperaturas en cámaras de combustión controladas (Espinosa, Bernardes y Soares, 2004).

A nivel mundial existen varias compañías dedicadas al reciclaje de las baterías y de baterías de teléfonos celulares. Entre estas se encuentran la compañía japonesa Sumitomo que recicla todo tipo de baterías, con excepción de las de Ni-Cd. Esta compañía utiliza la piro-metalurgia. Recytec, una compañía de Suecia, combina los procesos de piro-metalurgia, hidro-metalurgia y algunos tratamientos físicos para la extracción de los metales. Otras compañías Europeas como Atech, Snam-Savam, Waelz, Sap Nife, Accurec y TNO combinan todos los procesos de reciclaje para la obtención de los metales dentro de las baterías usadas. Inmetco es una compañía americana dedicada a la recuperación de metales de los polvos de las chimeneas de compañías para la producción de energía, pero su técnica se esta utilizando para el reciclaje de metales de las baterías (Bernardes et. al., 2004).

### **Vertederos de Puerto Rico: Estudio de caso del Vertedero de Vega Baja**

El vertedero de Vega Baja se encuentra en operación desde el año 1978 bajo la administración de este municipio. Este sistema de relleno sanitario esta ubicado en la carretera 688 kilómetro 3.0 del barrio Cibuco (ver Figura 1). Esta facilidad se utiliza para disponer residuos sólidos que provienen de actividades tanto comerciales como domesticas. En el año 2004 se depositaban en el vertedero cerca de 250-300 toneladas de desperdicios sólidos no peligrosos.

Durante el año 2004 se proveyó a la Junta de Calidad Ambiental (JCA) una serie de documentos con el fin de cumplir con las expectativas del plan Operación Cumplimiento. Este plan trataba de poner en ley los sistemas de relleno sanitarios disponibles en la isla. Varios de los requisitos eran parte del subtítulo D de la ley del RCRA. Entre los documentos que el municipio sometió se encontraban un plan de operación actualizado, un plan de emergencias para casos de fuego, explosivos o escapes de constituyente, permiso de operación de la facilidad actualizado y un plan de muestreo para aguas subterráneas.

Dentro de las especificaciones necesarias para la operación de un sistema de relleno sanitario que este vertedero carece se encuentran:

- Falta de controles de escorrentías de aguas pluviales
- Carencia de sistemas de control y recolección de lixiviados
- Falta de pozos de monitoreo de aguas subterráneas
- Falta de pozos para muestreo de gases (Operación Cumplimiento, 2004)

Señala Bernardez en el 2004, que las condiciones de diseño, construcción, operación y mantenimiento de los rellenos sanitarios son factores que repercuten en la movilidad de los metales dentro de estos. Estas faltas representan un potencial daño a pozos de agua aledaños al vertedero. En la Figura 2 podemos ver que los pozos 1,900; 1,600; 3,000 y 5,500 pudieran estar afectándose con los lixiviados del vertedero, ya que se encuentran aledaños a las instalaciones del vertedero.



## **Vertederos y baterías de teléfonos celulares**

Según la Comisión de las Naciones Europeas (2003) la ruta de disposición principal de las baterías usadas son los vertederos; estimando que el 75 % de las baterías son depositadas en vertederos. Kierkegaard, 2007 señala que cuando las baterías van a los vertederos sus metales contribuyen en los lixiviados. Además la Comisión de naciones Europeas recalca que si no se puede tomar acción sobre los lixiviados combinados con materiales peligrosos usados en estas baterías en los vertederos habrá que tomar acciones de manejo de riesgos eventualmente (CNE, 2003).

Según el Internacional Precious Metals Institute (2003), la disposición de los teléfonos celulares y las baterías de estos la expone a un ambiente ácido por un largo periodo de tiempo y las sustancias solubles en estos ácidos podrán lixiviar mas fácil. Aunque la cubierta de la batería de los teléfonos celulares este confeccionada por uno de los plásticos más fuertes, “Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Polycarbonate Alloy (ABS/PC)” (Monteiro et al., 2007). La razón de la degradación de la cubierta de la batería representa un riesgo potencial debido a que los metales contenidos en estas pueden ser liberados al ambiente. Condiciones como la naturaleza de la cubierta, la cantidad de carga restante en la batería, la larga exposición al lixiviado y el oxígeno contenido en el vertedero son factores importantes que afectan la cubierta externa de las baterías (Bernardez et al., 2004). Si el vertedero no cuenta con barreras impermeables estas sustancias migraran a las aguas subterráneas y eventualmente a lagos, ríos y pozos y conllevara a una exposición potencial a los humanos y a otras especies. La ruta de exposición será completamente por ingestión directa de agua o por plantas que absorbieron o ingieren estas sustancias.

Correia y Martin (2004), dicen que las baterías bajo las condiciones de falta de controles de lixiviados y de ambientes tan corrosivos como los basurales, donde se generan grandes cantidades de ácidos por descomposición de materia orgánica, existe la posibilidad de que se deteriore la capa plástica protectora de las baterías y así se liberen los metales pesados y demás sustancias tóxicas que estas contienen. Y luego estos componentes tóxicos pueden movilizarse desde los sistemas de relleno sanitario a los cuerpos de agua subterráneos afectando la calidad de estos (Correia y Martin, 2004).

### **Estudios de casos**

Tomando en cuenta la gran demanda de los teléfonos celulares a nivel mundial, muchos de nuestros países vecinos y no vecinos se han dado a la tarea de analizar el problema de la disposición final de las baterías de los teléfonos celulares. A continuación presentaremos algunos de los estudios que se han hecho y los resultados obtenidos en estos.

#### **Estudio de caso #1: Potencial impacto ambiental de la disposición final de baterías usadas de teléfonos celulares en vertederos municipales, Venezuela**

Este trabajo determinó la cantidad de teléfonos celulares y la cantidad de baterías de estos que están llegando a los vertederos y cuantos metales se depositan en el vertedero como parte de esta acción. Además realizó un estudio del impacto ambiental que estas baterías estaban ocasionando debido al contenido metálico de las mismas. Correia y Martín utilizaron una encuesta para determinar la cantidad de teléfonos celulares que han llegado a los vertederos en el municipio de Valencia durante el año

2003. Los resultados obtenidos eran alarmantes; un total de 170,000 baterías estaban siendo tiradas en los vertederos en solo este municipio. Extrapolando este resultado a nivel nacional se estiman que 3,250,000 están impactando al ambiente. La cantidad de componentes metálicos y tóxicos que están llegando a los vertederos es sumamente preocupante.

Correia y Martín determinaron que cerca de 2.680 kilogramos de cadmio, 24 toneladas de níquel, 3 toneladas de litio y 11 toneladas de cobalto están siendo depositadas en los vertederos de Venezuela anualmente. Estas cifras tiene un impacto ambiental serio tanto en medio físicos, biológicos y socio económicos. El medio físico se ve afectado por la contaminación de los acuíferos, cuerpos de agua superficiales y contaminación atmosférica. El medio biológico se ve afectado por la concentración de estos metales en las plantas, animales y en nosotros mismos. Mientras que el medio socio-económico se ve afectado por el desperdicio de los recursos. Los vertederos de Venezuela se caracterizan por ser vertederos abiertos los cuales además carecen de los estándares básicos de las leyes federales. Las lluvias pueden arrastrar constituyentes de las baterías y transportarlos a los cuerpos de agua circundantes. Por otro lado las lluvias y los suelos no aptos permiten la precolación de estos elementos a los acuíferos. La ingestión, absorción y respiración parecen ser los mecanismos de entrada a los medios biológicos.

La contaminación de las baterías usadas parece un problema serio a mediano plazo, debido ala toxicidad de los metales encontrados en las mismas. La cantidad de metales que están entrando a los vertederos es significativa y debe tomarse acción.

Correia y Martín mencionan el reciclaje como una opción considerable tanto para evitar la contaminación como para la recuperación de recursos (Correia y Martín, 2004).

## **Estudio de Caso #2. La contaminación por pilas y baterías en México, México**

En este estudio se presenta opciones para el manejo final de las baterías primarias y las baterías secundarias o recargables en México. Antes de hacer recomendaciones determinaron la cantidad de baterías en el país y sus fuentes. Las baterías que los teléfonos celulares usan también fueron contabilizadas. Para mayo de 2003 existían cerca de 27, 164, 729 usuarios de teléfonos celulares en México para esa misma fecha la cantidad de toneladas por tipo de batería era de 12.98 níquel-cadmio, 27.82 níquel-metal hidruro y 15.15 de Ion de litio. Se estimo que cerca de 2,136.58 toneladas de todos los tipos de baterías han sido usadas en México desde el año 1995 hasta el año 2003. También hacen mención de que esta cifra pudiera ser mayor si los usuarios han cambiado de teléfono antes del año.

Según el estudio esta gran cantidad de baterías ha llegado a los vertederos del país. Siendo la falta de planes de reciclaje y la falta de practicas de manejo adecuadas acompañadas de la falta de apoyo económico del país. El estudio concluye con una mirada de del crecimiento acelerado de la cantidad de baterías usadas y hace mención de la necesidad del gobierno y de las personas en atender de manera rápida y eficaz el problema. También señala que una gran cantidad de baterías ya ha sido dispuesta y que hay que trabajar con la remediación de este problema debido a los metales que poseen las mismas.

## **Marco legal**

Las leyes son la base para la garantía de nuestra existencia. Además son el reflejo de nuestros actos y como hemos aprendido de estos. En ocasiones se trazan para prevenir futuros escenarios que conlleven a problemas más serios. La telefonía celular se ha visto tocada por las leyes federales y estatales. Las baterías y las baterías recargables no han sido la excepción. A continuación discutiremos algunas de las leyes que se relacionan con la disposición de las baterías de teléfonos celulares en los vertederos o sistemas de relleno.

La primera ley aplicable sobre la disposición de los desperdicios sólidos y los desperdicios peligrosos es el “Resource Conservation and Recovery Act” de 1976. Esta ley es la base legal del manejo de los desperdicios sólidos en los Estados Unidos. Luego esta ley fue enmendada en el 1984 debido a la preocupación pública del rápido crecimiento de la cantidad de desperdicios sólidos peligrosos y de las prácticas de manejo. El objetivo principal de esta ley es “protegernos de los peligros de la disposición de los desperdicios, conservar la energía y nuestros recursos naturales mediante el reciclaje y la recuperación, reduciendo o eliminando los desperdicios y limpiando los desperdicios que han estado liqueando, regados o dispuestos de manera incorrecta. Esta ley establece también las guías a seguir a la hora de disponer, almacenar y tratar los desperdicios (Ritchie, 2004). Es el subtítulo D de esta ley el que regula los residuos no peligrosos y establece un control para el almacenamiento, transportación, procesamiento y disposición de los mismos. También establece las especificaciones de diseño, construcción y operación de las instalaciones de desperdicios no peligrosos. A pesar de las restricciones establecidas

en esta ley siguió la preocupación por alguno de los componentes de los desperdicios domésticos con cualidades de peligrosidad se estableció la ley “Universal Waste Rule”.

La “Universal Waste Rule” está diseñada para reducir la cantidad de desperdicios peligrosos en la corriente de desperdicios municipales, enfatizar en el reciclaje y en la disposición correcta de desperdicios peligrosos comunes y reducir las restricciones de las compañías que generan estos desperdicios. El objetivo principal de esta ley es la remoción de estos materiales de los vertederos municipales para prevenir de peligros a la salud y al ambiente. Esta regla incluye tres desperdicios comúnmente desechados a la basura domiciliaria. Estos son los termostatos (por su contenido de mercurio de 3 gramos), los pesticidas (usados en la agricultura que han sido recogidos o sacados de circulación) y las baterías (baterías de níquel-cadmio y baterías pequeñas de ácido-plomo).

Esta ley aplica a industrias pequeñas y grandes que son reguladas por "Resource Conservation and Recovery Act" a todas las personas que san los sistemas municipales de disposición y a todas las comunidades que quieran adoptar esta regla. Esta ley será valida en todos los estados de Estados Unidos así como también en sus territorios como Iowa, Alaska, Hawai y Puerto Rico. Algunos de estos estados adoptan leyes aun más restrictivas que las leyes federales.

Además de esta ley existe una comúnmente llamada el "Battery Act". Esta ley es Mercury-Containing Rechargeable Battery Management Act" del 1996 se dirige a la protección de la salud humana y del ambiente mediante sus requisitos para la recolección, disposición, reciclaje, rotulado y las directrices para la remoción fácil las baterías que son reguladas. También establece especifica los métodos de recolección de para las baterías

de níquel-cadmio y las baterías de ácido-plomo además de requerir un sistema de rotulación para facilitar su recolección y para informar que las baterías estaban reguladas federalmente.

Existen varios estados que poseen leyes que regulan la disposición de los teléfonos celulares y las baterías recargables. El estado con mayores restricciones a la disposición de teléfonos es California. Luego de establecer el "Electronic Waste Recycling Act" en el 2003 el estado hizo una ley más específica con relación a los teléfonos celulares. El "Cell Phone Recycling Act" del 2004 hace que los consumidores puedan reciclar con mayor facilidad sus teléfonos celulares. Esta ley hace que cada comercio dedicado a la venta de teléfonos celulares posea un sistema para la recolección de los teléfonos usados para su rehuso, reciclaje o disposición correcta.

En el estado de Nueva York existe una ley para el reciclaje de teléfonos celulares. El Título 23 "Wireless Telephone Recycling" de 2006. Esta ley establece que cada dueño de una facilidad dedicada a la venta de teléfonos celulares acepte y tenga método para la recolección de teléfonos celulares sin importar de donde venga. Además debe presentar información de los programas de reciclaje. Cada proveedor de teléfonos celulares se ve obligado a pagar por el transporte de los teléfonos celulares a la localidad que reciclara, rehusara o dispondrá de una manera ambientalmente amigable.

El estado de la Florida posee el estatuto 403.7192 conocido como el, "Take-Back Requirements for Battery Manufacturers and Marketers". Este estatuto requiere a los fabricantes y vendedores de baterías recargables y equipos con baterías recargables implementen un sistema de manejo para los mismos. El sistema de manejo de ser informado a los consumidores para evitar que estos entren en la corriente de basura

regular. Además debe proveer un programa para la recolección, transporte, reciclaje o disposición de las baterías.

En Puerto Rico las leyes que estarían rigiendo el control de la disposición final de las baterías en los vertederos municipales son varias. Primero, la constitución de l Estado Libre Asociado De Puerto Rico, Artículo VI, Sección 19 establece como política pública “la más eficaz conservación de los recursos naturales, así como el mayor desarrollo y aprovechamiento de los mismos para el beneficio de la comunidad”. El depositar materiales potencialmente peligrosos en vertederos fuera de los parámetros establecidos por ley no es la más eficaz manera ni el aprovechamiento en beneficio de nuestro país. Otra ley importante es la ley orgánica de la Autoridad de Desperdicios Sólidos. La Ley número 70 de 23 de junio de 1978 crea la entidad antes mencionadas con el fin de que esta proteja y mejore las condiciones del medio ambiente y afronte la demanda por más y mejores controles e instalaciones para el manejo de los desperdicios sólidos. Otra función otorgada a la autoridad es la de planificar, financiar y operar los servicios de trasbordo, procesamiento, recuperación y disposición final de los residuos sólidos. A esta ley se le suman otras que hacen de esta una más fuerte.

La Ley para la reducción y reciclaje de Desperdicios sólidos en Puerto Rico. Conocida como la Ley número 70 de 18 de septiembre de 1992 establece la implantación de estrategias económicamente viables y ambientalmente seguras para la reducción de de los desperdicios sólidos que requieran la disposición en rellenos sanitarios. Esta trata de establecer mejores practicas de manejo y disposición con el fin de reducir el uso de los sistemas de relleno sanitario. Se implantaran y se usaran tecnologías para la recuperación de los recursos con el potencial de ser reciclados. Esta política implantará medidas para



desarrollar y promover mecanismos para reducir el volumen de los residuos, establecer proyectos municipales para reducción y reciclaje, aprobar ordenanzas municipales para el reciclaje, establecer programas de separación en la fuente, envolver a la industria privada en la construcción y operación de instalaciones de recuperación y reciclaje, desarrollar programas educativos y estimular el uso de materiales reciclados.

La Autoridad de Desperdicios Sólidos se vera obligada a trabajar con los municipios mediante orientación, proveyéndole las estructuras necesarias para los programas de reciclaje. Además deberá fijar las tarifas de los costos de recolección y transporte de los materiales reciclados.

La Ley de política publica ambiental, Ley 414 del 18 de junio de 1970, tiene como fin “establecer una política pública que estimule una deseable y conveniente armonía entre el hombre y su medio ambiente; fomentar los esfuerzos que impedirán o eliminarían daños al ambiente y la biosfera y estimular la salud y el bienestar del hombre, enriquecer la comprensión de los sistemas ecológicos y fuentes naturales importantes para Puerto Rico...” además esta ley obliga a las agencias públicas a velar que se cumplan las siguientes normas:

- Utilizar un enfoque sistemático interdisciplinario al a hacer planes y tomar decisiones que puedan tener un impacto en el medio ambiente del hombre
- Identificar y desarrollar métodos procedimientos que aseguren no solo la consideración de factores económicos y técnicos, sino igualmente aquellos factores referentes a los valores y amenidades establecidos
- Incluir en toda recomendación o propuesta de legislación y emitir, antes de efectuar cualquier acción o promulgar cualquier decisión gubernamental que

afecte significativamente la calidad del medio ambiente, una declaración de impacto ambiental.

Ley de Municipios Autónomos, ley 81 del 30 de agosto de 1991, esta ley dispone a los municipios a encargarse del sistema de recolección de los desperdicios sólidos generados por el mismo. Otra ley importante es la Ley para la prevención de la contaminación. Esta ley del 2 de septiembre de 2000 (Ley 310) esta ley establece que es política publica del Estado Libre Asociado de Puerto Rico prevenir y reducir la contaminación desde su origen. En caso de que los contaminantes no puedan ser prevenidos serán rehusados o reciclados de manera segura para el ambiente. Además se utilizará la mejor tecnología disponible a probada por la JCA, siendo el último recurso su disposición al ambiente conforme con las leyes y reglamentos aplicables. Existe un reglamento para la disposición de los desperdicios sólidos no peligroso. El Reglamento de Desperdicios Sólidos No Peligrosos, promulgado por la resolución, R-97-3-93, establece las reglas para el manejo y operación de las instalaciones de los desperdicios sólidos no peligrosos. El propósito principal es establecer los requisitos necesarios para el manejo, transportación disposición, administración y el seguimiento de las actividades de las instalaciones de residuos sólidos no peligrosos.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **Introducción.**

Este estudio tiene dos propósitos generales. El primero, es estimar la cantidad de baterías de teléfonos celulares que se están depositando en los vertederos de nuestro país. Para luego hacer una evaluación del riesgo de estas en los sistemas de relleno sanitarios y como estarían afectando la calidad del ambiente y la salud humana. La percepción o conocimiento de los ciudadanos en relación a la toxicidad potencial de los componentes de las baterías de los teléfonos celulares también será estudiada.

#### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el pueblo de Barceloneta. La población de este pueblo en el año 2000 fue de 22,322 habitantes (U.S. Census Bureau, 2000). Una muestra representativa de esta población sería de 379 personas según Stephen y Michael (1981) (Apéndice 3). Se utilizó el área del centro comercial de este pueblo conocida como los "Prime Outlets". Este lugar fue escogido por la cantidad de personas que hacen uso de estas facilidades.

Se le presentó una carta explicativa (Apéndice 1) donde se le pedirá permiso para realizar la encuesta en el lugar, ofreciendo una explicación breve del propósito del estudio y se le presentara una copia del cuestionario a ser utilizado (Apéndice 2).

### Descripción de la población y muestra.

La población a ser estudiada los individuos que visitan el área de los "Prime Outlets". Esta población representa una cantidad considerable de personas de varias clases sociales, de educación variada y de costumbres no semejantes. Pero todas poseen una característica en común que es el uso del teléfono celular. Los sujetos entrevistados serán personas mayores de 21 años.

Utilizaremos un sistema de muestreo al azar (Villeneuve, 2004). Este nos permitirá escoger a las personas sin que estas presenten unas cualidades específicas. Para seleccionar la muestra estaremos la tabla de Stephen y Michael (1981) (Apéndice 3). Esta tabla nos dice que cantidad de muestra debemos tomar de una población dada con una confiabilidad de 95 % (Villeneuve, 2004). La tabla de Stephen y Michael (1981) utiliza la siguiente ecuación para obtener una muestra de una población dada:

S =	$X^2 NP ( 1 - P )$
	$D^2( N - 1 ) + X^2P ( 1 - P )$

donde,

S = tamaño requerido de muestra

N = tamaño de la población dada

P = proporción de la población que para la construcción de la tabla se asumió que sería de 0.50, dada que a esta magnitud dará la muestra máxima posible

d = grado de exactitud como reflejo de la cantidad de error que puede ser tolerado en la fluctuación de una muestra proporcional P – cuyo valor para d será 0.05 para los cálculos de la tabla que será igual a  $\pm 1.96 \sigma_p$

$X^2$  = valor de chi cuadrada para un grado de libertad relativo la nivel deseado de confiabilidad, el cual es de 3.841 para un nivel de confianza de 0.95 representado en la tabla

### **Objetivo 1:**

*Estimar la cantidad de teléfonos por hogar en Puerto Rico, estimar la frecuencia de cambio de la unidad móvil y estimar el número de usuarios que puedan estar disponiendo los teléfonos celulares.*

### **Método:**

Para estimar la cantidad de teléfonos por hogar, la frecuencia de cambio del teléfono celular y la cantidad de usuarios que están disponiendo sus teléfonos celulares en los vertederos se llevo a cabo una encuesta. Esta encuesta será validad por un grupo de profesionales además de ser presentada al AGMUS IRB. Además, la encuesta nos dará un porcentaje confiable (95%) de la cantidad de personas que están realizando esta práctica. Al porcentaje obtenido mediante el cuestionario se estará multiplicando por la cantidad de usuarios de teléfonos celulares durante el año 2006 que fue de 2, 682, 000 (CIA World Factbook, 2007) y los años 2004, 2002 y 2000 (FCC, 2006). La cantidad de teléfonos por el hogar y la frecuencia de cambio del teléfono celular se determinar utilizando la ecuación estadística para promedio.

### **Objetivo 2:**

*Estimar la cantidad de celulares y baterías dispuestas en los vertederos desde el año 2000 al 2006.*

**Método:**

Para poder estimar la cantidad de celulares que se están depositando en los vertederos de nuestro país realizaremos una encuesta. Esta encuesta será validada por un grupo de profesionales además de ser presentada al AGMUS IRB. Con la encuesta podremos estimar la cantidad de teléfonos celulares que están llegando a nuestros sistemas de rellenos sanitarios. Esta encuesta nos ayudó a establecer algunas de las razones de por qué los teléfonos celulares llegan a los vertederos. Con la información obtenida del mercado de celulares (Madani, 2003), se hará una regresión para estimar la cantidad de celulares y baterías que pudieron llegar a los vertederos.

**Objetivo 3:**

*Estimar la cantidad de metales que están llegando a estos vertederos más importantes de Puerto Rico desde el 2000 al 2006.*

**Método:**

Luego de obtener la cantidad de celulares que se están depositando en los vertederos podremos estimar la cantidad de metales provenientes de las baterías de teléfonos celulares con la siguiente ecuación (Correira y Martin, 2003):

$$PM = (\% \text{ metal} \times P_B) / 100$$

Donde:

PM = peso de metal por batería, (gramos)

% metal = porcentaje de metal, (% p / p: peso del metal / peso de la batería)

P<sub>B</sub> = peso total de las baterías (El peso promedio de las baterías son de 110

gramos Ni-Cd, 53 gramos Ni-MH y 37 gramos Li-ion)

A este valor lo estaremos multiplicando por la cantidad de baterías de teléfonos celulares que resultaran de la encuesta.

#### **Objetivo 4:**

*Evaluar el riesgo cualitativo de la presencia de metales procedentes de las baterías en los vertederos para determinar el impacto potencial al ambiente.*

#### **Método:**

Luego de conocer la cantidad de metales que esta llegando a los vertederos realizaremos un análisis de impacto ambiental de los mismos. Este análisis será realizado a través de la información obtenida en la literatura. Los recursos consultados serán la Agencia de Protección Ambiental y la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Determinamos la concentración de los metales contenidos en las baterías de los teléfonos por kilogramo de basura diaria utilizando la siguiente ecuación:

$$[ ] = \frac{(\text{gramos de metal/año})(\% \text{ basura en el vertedero})(\text{año/días})(\text{mg/g})(100)}{(\text{Kg basura /diaria})}$$

Los resultados obtenidos serán comparados con las concentraciones diarias mínimas de riesgo de la ASTDR para así completar la evaluación del potencial impacto ambiental. La ADS nos da la información de la disposición de basura diaria a los principales vertederos del país,

**Objetivo 5:**

*Preparar un método de divulgación con la información encontrada de manera que sirva para educar a las personas sobre el problema de la disposición de las baterías de los celulares en los vertederos.*

**Método:**

Este objetivo se completara al terminar la investigación y para esto se prepara un panfleto. Este servirá para informar a las personas de la cantidad de teléfonos y baterías de celulares que se están llegando a los vertederos y lo peligrosos que esto puede ser para ellos.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### **Introducción.**

En este capítulo, presentamos los resultados y la discusión de los mismos. Durante la primera parte de este se discutirán los resultados que reflejó la encuesta. Donde se discutirán aspectos relacionados a los datos sociodemográficos de las personas encuestadas como el sexo, edad y educación. La segunda parte de la discusión del cuestionario comprenderá el número de teléfonos celulares que posee el individuo por hogar, la frecuencia con que cambia el equipo móvil, si ha tenido que cambiar la batería del aparato, la cantidad de veces que lo ha hecho, el tipo de batería que utiliza el equipo y que hace luego de que el teléfono celular queda fuera de servicio. En la discusión de la tercera parte del cuestionario se discutió el conocimiento del individuo en relación a si conoce que estos equipos son reciclables y también si conoce que algunos de los componentes del teléfono móvil son peligrosos. Por otro lado discutiremos la disposición del entrevistado para reciclar el aparato de contar este con los medios para hacerlo.

Luego de discutir el cuestionario estimamos la cantidad de usuarios que están depositando sus teléfonos celulares en los vertederos de nuestro país. Luego se estimó la cantidad de teléfono móviles y baterías de estos que puedan estar llegando a los sistemas de rellenos sanitarios. Conociendo las prácticas anteriores se determinara la cantidad de metales peligrosos que están entrando a los vertederos provenientes de las baterías de los teléfonos celulares. Luego de estimadas estas cantidades, haremos una evaluación del

impacto potencial al ambiente de estos componentes. Para finalizar, con la información obtenida preparamos un folleto para divulgar la información y educar al público.

**Estimar la cantidad de teléfonos por hogar, estimar la frecuencia de cambio de la unidad móvil y estimar el número de usuarios que puedan estar disponiendo los teléfonos celulares en Puerto Rico.**

La encuesta se llevó a cabo en Prime Outlets del pueblo de Barceloneta. Se encuestó un total de 379 individuos que se encontraban realizando compras en el lugar. Los cuestionarios fueron completados por las personas que estuvieron en disposición de hacerlo, de manera oral. La población estudiada se componía de 213 mujeres y 166 hombres (Figura 3). Esto equivale a 56.2 % y 43.8 % de la muestra total respectivamente (Tabla 1). Por otro lado, las edades de los individuos se desglosaron en base a rangos. La mayor cantidad de encuestados fluctuó entre las edades de 28 a 37 años (Figura 4). Esta estuvo de cerca por personas entre los 18 a 27 años y 38 a 47 años. El grupo de 48 a 57 años estuvo en cuarta posición y en última posición estuvo el de 57 o mas.

La participación del grupo de 28 a 37 años fue de 120 personas o un 31.7%, seguida de 80 personas entre las edades de 18 a 27 años o un 21.1 % de los encuestados. La tercera categoría mas numerosa en las encuesta fue la de 38 a 47 con una participación de 72 personas o un 19.0 %. La cuarta y quinta posición fueron la de 48 a 57 años o un 16.6 % y 44 personas con 57 años o mas con un 11.6 % (Tabla 2).

Otro factor sociodemográfico tocado en la encuesta fue el grado académico alcanzado por el individuo (Tabla 3). Este renglón se dividió en Escuela Superior, Programa Técnico, Asociado, Bachillerato y Maestría o Doctorado. El mayor grupo que

participo poseía Bachillerato con 207 personas o el 54.6 % de la muestra. Participaron un total de 55 personas con grado Asociado lo que equivale a un 14.5 %. Bien de cerca estuvo el grupo que obtuvo un grado de Maestría o Doctorado con 53 participantes o un 14.0 % de la muestra. El próximo grupo en orden descendente son los individuos con Escuela Superior. La participación de estos fue de 46 personas o un 12.1 % del total encuestado. Por último, la participación de los encuestados con un Programa Técnico fue de 18 personas o un 4.8 %. Luego de conocer estas características de la muestra o sub - población que se encuestó pasamos a preguntarles por la cantidad de unidades de teléfono celular que cada individuo poseía en su hogar (Tabla 4).

La mayoría de los encuestados respondió que tenía un total de 2 teléfonos por hogar. Eso equivale a un 42.5 % de la muestra o 161 personas. En segundo lugar, 85 personas dijeron poseer 3 unidades móviles por hogar o un 22.4 % de la muestra. Otra parte de los individuos encuestados dijo poseer solamente 1 teléfono celular en el hogar lo que significa aun 20.6 % de los encuestados. Un total de 35 personas dijo poseer 4 teléfonos celulares en el hogar lo que se traduce a un 9.2 % de las personas entrevistadas. Tan solo 20 personas dijeron tener 5 o mas unidades móviles lo que seria igual a 5.3 % de los individuos encuestados (Figura 5). También se les pregunto a los individuos por la frecuencia que cambiaban sus teléfonos celulares (Tabla 5).

La muestra encuestada respondió, en su mayoría, que cambiaban su teléfono celular cada 2 años. Un total de 279 personas contestó esto. O sea que el 73.6 % de los encuestados cambia cada 2 años su teléfono móvil. Una cantidad de 64 personas respondió que la frecuencia de cambio de teléfono era de 1 año lo que representa un 16.9 % de la muestra. Una cantidad de 24 encuestados dijo que cambiaba el teléfono móvil

cada 1.5 años, lo que significa un 6.3 %. El resto de los entrevistados (12 personas) dijo que cambiaba su teléfono celular cada 6 meses para ser solo el 3.2 % de la muestra total (Figura 6). Una de las preguntas más importantes del cuestionario es la cantidad de veces que el usuario del teléfono celular hizo en el periodo que estuvo con la unidad (Tabla 6).

Del total de 379 encuestados 327 personas dijeron que no habían realizado un cambio de batería a los teléfonos celulares mientras estuvieron con el. Solamente 52 personas o un 13.7 % de la muestra dijo haber reemplazado la batería de su teléfono. De estos 52 individuos 40 personas reemplazaron la batería 1 vez, mientras que 12 personas la cambiaron 2 veces. Esto equivale al 76.9 % y 23.1 % de las personas que reemplazaron la batería respectivamente. A cada uno de los encuestados se le preguntó también por el tipo de batería que utilizaban los teléfonos celulares que poseían (Tabla 7).

Las baterías de teléfonos celulares están compuestas por níquel – cadmio, níquel – metal hidruro y de Ion de litio según la literatura citada. La batería más abundante fue la de Ion de litio. Esta es usada por un total de 364 participantes o un 96.1 % del total muestreado. Tan solo 8 personas utilizaban baterías de níquel – cadmio y 7 personas dijeron utilizar baterías de níquel – metal hidruro. Estas cantidades equivalen a un 2.1 % y 1.8 % de los individuos encuestados (Figura 7.). Luego de conocer que tipo de batería utiliza la muestra, preguntamos que hacía el individuo con la unidad al quedar en desuso (Tabla 8).

Se les preguntó a los individuos por cuatro opciones que se mencionan en la literatura. Estas son: que se guarda en la gaveta, se tira a la basura, se regala o se vende en teléfono celular. La opción de dejar guardado el teléfono móvil en una gaveta fue la

de mayor arraigo por los encuestados. Un total de 244 personas dijeron tener esta costumbre. Esto representa que un 64.3 % de la muestra toma esta iniciativa. La senda alternativa de mayor número fue tirar el teléfono a la basura. Una cantidad de 81 participantes hace esto, lo que equivale a un 21.3 % del total muestreado. Solamente 51 personas regalan la unidad móvil después de dejarlas fuera de servicio. Esta opción significó el 13.4 % de los encuestados. Tan solo 4 personas dijeron vender el equipo celular; lo que equivaldría a 1 % del total muestreado (Figura 8.). Luego de hacer estas preguntas pasamos a la última parte del cuestionario. Esta parte trata de ver las aptitudes de la muestra en referencia al conocimiento de que estos aparatos se pueden reciclar, que algunos de los componentes del aparato contiene metales que son peligrosos a la salud y preguntamos si estos estarían dispuestos a reciclar el teléfono celular y sus componentes si contasen con los medios necesarios.

La mayoría de las personas encuestadas dijo desconocer que los teléfonos celulares se pueden reciclar (Tabla 9.). O sea que un total de 225 individuos carecía de este conocimiento. Esto equivale a un total de 40.6 % de los encuestados. Por el contrario, 154 personas dijeron conocer de la práctica de reciclaje de estos aparatos. Esto significa un 40.6 % de los individuos entrevistados (Figura 9.). Sin embargo la peligrosidad de algunos de los componentes del teléfono móvil si era de dominio del personal encuestado (Tabla 10). Una cantidad de 218 personas o el 57.5 % de los individuos si conocían sobre este particular. El otro 42.5 % de la muestra o 161 personas dijo no conocer de la peligrosidad de algunos de los componentes de los teléfonos celulares (Figura 10.).

Otra aptitud estudiada en esta encuesta fue la disponibilidad de los individuos a reciclar (Tabla 11). De las 379 personas que fueron encuestadas un total de 378 personas o el 99.7 % de la muestra reconoció estar dispuesta a reciclar de poseer los medios necesarios para hacerlo. Tan solo 1 persona dijo que no realizaría esta práctica. Esto representa tan solo el 0.3 % del total encuestado (Figura 11).

Luego de realizar la encuesta se pudo estimar que el promedio de teléfonos por hogar en Puerto Rico fue de 2.4 unidades. Mientras tanto la frecuencia de cambio resulto ser de 1.75 meses o 1 año y 9 meses. Por otro lado, la cantidad de teléfonos que se están disponiendo en los vertederos de nuestro país se tomando en cuenta los datos en la tabla #8 y la cantidad de usuarios de teléfonos celulares en Puerto Rico. Menciona Fishbein (2002), que los teléfonos celulares que terminan guardados en algún lugar de la casa eventualmente fueron depositados en el zafacón. Tomando en consideración este dato, se puede decir que la cantidad de celulares que están llegando a los vertederos seria igual a la suma de los teléfonos que fueron depositados directamente y la cantidad de telefotos que permanecen guardados en alguna gaveta. La encuesta estimo que cerca del 64.3 % de los teléfonos en desuso permanecen guardados en alguna gaveta del hogar y que el 21.3 % de los encuestados dijo tener la práctica de depositar los teléfonos en la basura. La suma de ambas costumbres da a un 85.6 %. Esto significa que un 85.6 % de los teléfonos celulares en nuestro país están entrando tarde o temprano a los sistemas de rellenos sanitarios.

**Estimar la cantidad de celulares y baterías dispuestas en los vertederos desde el año 2000 al 2006.**

Tomando este dato y el conociendo que al finalizar el año 2006 estuvieron activos cerca de 2, 682, 000 unidades de teléfonos celulares (CIA World Fact Book, 2007); se puede decir que 2, 295, 792 unidades móviles se depositaron en los vertederos de Puerto Rico. Para hacer la retrospección utilizaremos los datos ofrecidos por la FCC en el 2005 y la frecuencia de cambio de los teléfonos celulares en puerto rico que fue de 2 años aproximadamente. Según la FCC en el año 2004 estuvieron activos 2, 076, 698 unidades, en año 2002 fueron 1, 516, 808 unidades y en el año 2000 757, 613 unidades. Si hacemos el mismo calculo que se hizo con las unidades del 2006 tenemos que en el 2004 se depositaron cerca de 1, 777,653.4 teléfonos celulares, 1, 298, 387.6 teléfonos celulares en el 2002 y 648, 516.7 en el año 2000. o sea que un total de 6, 020, 349.7 teléfonos celulares se han depositados en los sistemas de rellenos sanitarios de Puerto Rico desde el a 2000 al 2006 (Figura 12.).

Para determinar la cantidad de baterías que se han sido dispuestas en los vertederos hay que sumar la cantidad de teléfonos celulares depositados por año más la cantidad de veces que se han cambiado estas. Utilizando la tabla # 6 obtuvimos que cerca de 13.7 % de las personas encuestadas dijeron haber cambiado la batería de su teléfono durante el tiempo que este estuvo en servicio. De esta cantidad un 76.9 % dijo haberle cambiado la batería en una ocasión y un 23.1 % lo hizo en dos ocasiones. Utilizando el numero de teléfonos dispuestos en el año 2006 podemos decir que se cambiaron un total de 314, 523.5 baterías. De este ultimo calculamos que 241, 862.6 fueron remplazadas 1 vez y 145, 309.8 en 2 ocasiones. De esto, se calculo que 2, 828,

273.6 baterías llegaron en el 2006 a nuestros vertederos. Si hacemos los mismos cálculos para los años 2004, 2002 y 2000 tenemos que 2, 077, 449.3 baterías en el 2004, 1, 517, 356.7 en el 2002 y 757, 887 en el 2000. El total de baterías dispuestas desde el año 2000 al 2006 sería de aproximadamente 7, 180, 966.6 (Tabla 12.).

**Estimar la cantidad de metales que están llegando a estos vertederos desde el 2000 al 2006.**

Para estimar la cantidad de metales que se han depositado en los vertederos de Puerto Rico debemos conocer el peso estimado de cada una de las baterías que utilizan los teléfonos celulares y el % de peso del metal utilizado en la confección. El peso promedio de las baterías son de 110 gramos Ni-Cd, 53 gramos Ni-MH y 37 gramos Li-Ion. Para completar el calculo de los metales utilizaremos la formula de Correira y Martin (2004). Esta dice que el peso del metal es igual a:

$$PM = (\% \text{ metal} \times P_B) / 100$$

Donde:

PM = peso de metal por batería, (gramos)

% metal = porcentaje de metal, (% p / p: peso del metal / peso de la batería)

P<sub>B</sub> = peso total de la batería

Los metales que estudiaremos serán aquellos de mayor peso en la batería y que se encuentran mencionados en la lista de prioridad de sustancias peligrosas del “Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act”(CERCLA).



Los metales de mayor importancia entonces para la batería de Ni – Cd lo son el cadmio, cobalto, litio (hidróxido de litio), y níquel. Cada uno de ellos tiene un peso promedio de 22 %, 2 %, 4 %, y 32 % respectivamente. Al utilizar la fórmula de Correira y Martin (2004), encontramos que en una batería de Ni – Cd hay cerca de 24.2 gramos de cadmio, 2.2 gramos de cobalto, 4.4 gramos de litio y 32.5 gramos de níquel (Tabla 14.).

Por otro lado la batería de Ni – MH, tiene metales como aluminio con un 2 % de peso, cobalto con 6 % de peso, litio (hidróxido de litio) con un 4 % de peso total, manganeso con un 3% de peso total, níquel con un peso total de 50 % y el cinc con un peso de 3 % del total de la batería. Calculando el peso de cada metal en la batería, que es de 53 gramos, obtendremos que hay cerca de 0.96 gramos de aluminio, 3.18 gramos de cobalto, 2.12 gramos de litio, 1.59 gramos de manganeso, 26.5 gramos de níquel y 1.59 gramos de cinc (Tabla 15.).

Por su parte, la batería de Li – Ion cuyo dominio en la encuesta fue de 96.1 % tiene como componentes principales el grafito y varios compuestos de litio como el óxido de cobalto litiado, hexafluorofosfato de litio y el tetrafluoroborato de litio. El grafito ocupa el 22.0 % del total del peso de la batería de litio mientras que los compuestos de litio ocupan el 40.0 % del total del peso de la batería de litio. En términos de medidas de volumen y conociendo que una batería de litio pesa cerca de 37 gramos tendremos que el grafito aporta 8.14 gramos al peso total de la batería y los compuestos de litio 14.8 gramos (Tabla 16).

Para poder estimar la cantidad de metales que entraron a los vertederos de nuestro país tomamos los datos de arriba y los datos de cómo fue el mercado de baterías en este año.(Tabla 13.) Para este último necesitaremos la tabla #7 en donde se aprecia que el

96.1 % de las baterías eran de litio, 2.1 % eran de Ni – Cd y 1.8 % eran de Ni – MH. Dado que el total estimados de baterías dispuestas en el año 2006 fueron de 2, 828, 273.6 unidades calculamos que 2, 717, 920.9 eran de litio, 59, 393.7 fueron de Ni – Cd y 50, 908.9 fueron de Ni – MH. Luego de conocer las cantidades estimadas de cada tipo de batería en el año 2006 podemos decir que la batería de litio aparto durante ese año a los vertederos del país cerca de 22, 124, 275 gramos de compuestos de grafito y 40, 225, 969 gramos de litio. Las baterías de Ni – Cd por su parte, aportaron cerca de 1, 333, 813.1 gramos de cadmio, 111, 999.6 gramos de cobalto, 223, 999.2 gramos de litio y 1, 791, 993.2 gramos de níquel. Las baterías de Ni – MH llevaron a los vertederos cerca de de 57, 017.9 gramos de aluminio, 188,871.9 gramos de cobalto, 125, 914.6 gramos de litio, 94, 435.9 gramos de manganeso, 1, 573, 933 gramos de níquel y 94, 435.9 gramos de cinc (Figura, 13.)

Para hacer la regresión hasta el año 2000 utilizamos el comportamiento del mercado de baterías de los teléfonos celulares que se discutió en el "Taipei Power Forum and Exhibition" (Madani, 2003). Este menciona que en el año 2004 el mercado de baterías se dividió de la siguiente manera 0 % para las baterías de Ni – Cd, 12 % para la batería de Ni – MH y 88 % para las baterías de litio. En el año 2002 el mercado fue de 0% para las baterías de Ni – Cd, 34 % para la baterías de Ni – MH y 66 % para las baterías de litio. En el año 2000 por su parte fue de 2% para las baterías de Ni – Cd, 56 % para las baterías de Ni – MH y 42 % para las baterías de litio. Utilizando esta data podemos estimar que para el año 2004 se dispusieron cerca de 0 baterías de Ni – Cd, 1, 249, 93.9 baterías de Ni – MH y 828, 155.3 baterías de litio. En el 2002 fueron cerca de 0 baterías de Ni – Cd, 515, 901.3 baterías de Ni – MH y 1, 001, 455.4 baterías de litio. Para el año 2000 se

dispusieron cerca de 15, 157.7 baterías de Ni – Cd, 424, 416.7 baterías de Ni – MH y 318, 312.5 baterías de litio (Figura 14.).

La cantidad de metales depositados en los rellenos sanitarios del país durante el año 2004 procedentes de las baterías de Ni – Cd fue de 0 gramos. Las baterías de Ni – MH aportaron cerca de 239, 322.1 gramos de aluminio, 792, 754.6 gramos de cobalto, 528, 503.1 gramos de litio, 396, 377.3 gramos de manganeso, 6, 606, 288.3 gramos de níquel 396, 377.3 gramos de cinc. Durante el año 2002 la aportación de las baterías de Ni – Cd fue de 0 gramos también. Sin embargo las baterías de Ni – MH fueron responsables de 495, 265.2 gramos de aluminio, 1, 640, 566.1 gramos de cobalto, 1, 093, 710.7 gramos de compuestos de litio, 820, 283.1 gramos de manganeso, 13, 671, 384 gramos de níquel y 820, 283.1 gramos de cinc. Las baterías de litio por su parte añadieron 8, 151, 849.9 gramos de grafito y 14, 821, 539 gramos de compuestos de litio a los sistemas de rellenos sanitarios del país.

Para el año 2000, las baterías de Ni – Cd aportaron cerca de 366, 816.3 gramos de cadmio, 33, 346.9 gramos de cobalto, 66, 693.9 gramos de litio y 533, 551 gramos de níquel. Las baterías de Ni – MH sumaron 407, 440 gramos de aluminio, 1, 349, 645.1 gramos de cobalto, 899, 763.4 gramos de litio, 674, 833.6 gramos de manganeso, 11, 247, 042 gramos de níquel y 674, 822.6 gramos de cinc. Las baterías fueron responsables de 2, 591, 063.7 gramos de grafito y 4, 711, 025 gramos de compuestos de litio (Tabla 16).

### **Evaluar el riesgo potencial de la presencia de metales procedentes de las baterías en los vertederos para determinar el impacto al ambiente.**

Luego de estimar las cantidades de metales que están entrando a nuestros sistemas de rellenos sanitarios por consecuencia de la práctica de disponer las baterías de los

teléfonos celulares a estos nos percatamos de que existe una probabilidad de riesgo y potencial impacto ambiental. Algunos de los metales en mayor cantidad se encuentran listados en la lista de prioridad de sustancias peligrosas de CERCLA. Cabe mencionar que los metales como el cadmio, el cobalto, el níquel, el cinc, el manganeso y el aluminio aparecen en esta lista. Un elemento abundante lo es el litio. Este no aparece listado pero se encuentra en unas proporciones grandes y además la tendencia del mercado lo favorece a estar presente durante varios años. Este metal es utilizado por todas las baterías de teléfonos celulares en distintos tipos de compuestos.

Como se menciona, la mayoría de estos metales representa un riesgo potencial a la salud y al medio ambiente. Pero si a esto le sumamos que la mayoría de los vertederos de nuestro país carecen de muchos métodos de control de contaminación y que los hace violadores de las leyes y políticas ambientales como lo son el subtitulo D de RCRA; se complica aun mas nuestro escenario.

La gran mayoría de los vertederos de nuestro país incumplen con estas políticas permitiendo el flujo de contaminantes fuera de la localidad. Al permitir el paso de estos componentes peligrosos personas que tienen sus viviendas aledañas a estos vertederos pueden estar siendo afectadas. Son estas personas la que pueden estar siendo impactadas por los metales de las baterías de teléfonos celulares que fueron a para al vertedero. Las posibles maneras de contacto o exposición a estos metales deben de ser la ingestión de agua contaminada e algunos de los pozos de agua adyacentes, la ingestión de alimentos contaminados, y la exposición de manera directa por traspasar las fronteras de los vertederos. La contaminación de los pozos y cuerpos de agua adyacentes puede darse de dos formas. La primera es por las escorrentías de lluvia que pueden arrastrar alguno de

los metales a los cuerpos de agua vecinos y la otra por la percolación de los metales a los acuíferos que están adyacentes al lugar.

Luego de calcular las concentraciones de los metales de las baterías de los teléfonos celulares que entran diariamente a los vertederos de mayor importancia en Puerto Rico (Arecibo, Carolina, Humacao, Juncos y Toa Baja), ver Figura 15, pudimos ver como varios de los metales sobrepasaran los límites mínimos de riesgo diarios de la ASTDR (Tabla 19). Estos metales fueron el cadmio, el cobalto, el níquel, el manganeso y el litio (Tabla 20).

### **Riegos a la salud debido a los metales contenidos en las baterías de los teléfonos celulares.**

Entre los metales antes mencionados se encuentra el cadmio. Este metal se encuentra en la posición número 7 de la lista de prioridad de sustancias peligrosas de CERCLA. Este elemento puede entrar al cuerpo por el sistema respiratorio a través del aire, por la cadena alimenticia por la ingestión de alimentos contaminados o por la ingestión de agua contaminada. Los órganos claves del cadmio lo son los pulmones, los riñones e intestinos. Además este metal y sus compuestos pueden ser carcinógenos. El cadmio tiene los mismos efectos en adultos como en niños. Este puede detectarse por exámenes de sangre, orina, cabello y uñas (ATSDR, 1999).

En orden de prioridad de la lista le sigue el cobalto. Este ocupa el puesto numero 49 en la lista. Al igual que el cadmio el cobalto puede entrar por la vía respiratoria, los alimentos contaminados y la ingestión de agua contaminada. El cobalto puede afectar los pulmones, la sangre, el hígado, riñones y el corazón. Este metal puede pasar de la madre al feto y de la madre al bebe por la leche materna. Este elemento tiene los mismos

efectos tanto en adultos como menores. Las pruebas más eficientes para detectar el cobalto lo son las de sangre y orina (ATSDR, 2004).

Otro material peligroso en la lista de CERCLA lo es el níquel. Este material ocupa la posición número 53. El níquel puede llegar al individuo mediante el aire y la ingestión de agua contaminada. El níquel causa reacciones alérgicas en la piel. Además causa bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer de pulmón y de los senos nasales. Es probable que el níquel pueda pasar al feto a través de la placenta y puede pasar a través de la leche materna. Los niños pueden presentar los mismos síntomas que los adultos. Este metal se puede detectar mediante pruebas de sangre, heces y orina (ATSDR, 2005).

En la posición número 117 de la lista de prioridad de sustancias peligrosas de CERCLA se encuentra el manganeso. Este es otro de los ingredientes de manufactura de las baterías. La ruta de entrada al cuerpo de este, metal es la ingestión de agua contaminada. Este puede producir daños en el cerebro y al sistema nervioso. En niños puede producir defectos de nacimiento al igual que problemas de aprendizaje y de coordinación. Los exámenes de sangre, orina, cabello o heces pueden detectar la presencia del manganeso en el cuerpo (ATSDR, 2000).

Un metal que no aparece listado en la lista de prioridad de CERCLA lo es el litio. Este metal es utilizado en todas las baterías en compuesto. Uno de estos es el perclorato de Litio. El perclorato puede entrar al cuerpo por la ingestión de agua o alimentos contaminados. La glándula Tiroidea parece ser el organismo impactado por los percloratos. En los niños se puede apreciar los mismos síntomas, sin embargo las

agencias pertinentes han clasificado a los percloratos como carcinógenos. Es muy difícil detectar el compuesto en el cuerpo, solo en la orina se puede ver exposiciones recientes.

Por otro lado, el litio se ha usado para tratar a pacientes con bipolaridad. El litio afecta el transporte de iones y la membrana celular compitiendo con el sodio y el potasio; estos efectos alteran la función neural. Además interfiere con la actividad neurotransmisora.

Un paciente que sufrió una sobredosis con tabletas de litio fue estabilizado con hemodiálisis. Luego de esto, a los diez días presento fiebre alta, rigidez muscular, insuficiencia renal aguda y confusión mental y entorpecimiento. El paciente murió luego de desarrollar un fallo renal agudo y una falta de respiración aguda. El litio puede causar “Nuroleptic Malignant Síndrome” o neurotoxicidad aguda de litio ( Gill, Singh y Nugent, 2003).

**Preparar un método de divulgación con la información encontrada de manera que sirva para educar a las personas sobre el problema de la disposición de las baterías de los celulares en los vertederos.**

Este folleto contiene información sobre el problema planteado, datos aportados por esta investigación y recomendaciones para atacar el problema de la disposición de las baterías de los teléfonos celulares en los vertederos de nuestro país. El fin primordial de este folleto es educar al público sobre este problema y como podemos actuar al respecto (Anejo 6).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

Los avances tecnológicos a nivel mundial y en nuestro país facilitan grandemente tareas que antes tomaban una gran cantidad de tiempo realizar. En el caso de la comunicación se da la misma situación. La facilidad de hacer una llamada telefónica desde el lugar que quieras o necesitas hace de esta invención sea una de la mas prolíficas. Tan es así, que en el año 2006 cerca de 2, 682, 000 unidades de teléfonos celulares estuvieron activas en nuestro país (CIA World Factbook, 2007). Además de esto, la FCC reportó en el año 2004 que estuvieron activos 2, 076, 698 unidades, en el año 2002 fueron 1, 516, 808 unidades y en el año 2000 757, 613 unidades (FCC, 2005). Lo que representa una cantidad de unidades móviles que estuvieron activas y que en algún momento hay que reemplazarlas o quedan obsoletas por la rapidez de crecimiento del mercado electrónico.

La razón de cambio de los aparatos celulares fue, según la encuesta que realizamos, de 1.75 meses. Lo que significa que cada 1 año y 9 meses haces un cambio de teléfono. Este dato muestra que las personas en Puerto Rico somos mas conservadores que en los Estados Unidos dado que la razón de cambio en este vecino país es de 18 meses (Fishbein, 2002). También pudimos conocer que en nuestros hogares hay una cantidad cercana a 2.4 unidades móviles.

Teniendo en consideración todos estos datos; analizamos la cantidad de metales que fueron depositados en los vertederos de nuestro país. Con la encuesta que realizamos



en el pueblo de Barceloneta, Puerto Rico encontramos que cerca del 64.3 % de los teléfonos en desuso permanecen guardados en alguna gaveta del hogar, los que eventualmente serán depositados en la basura (Fishbein, 2002) y que el 21.3 % de los encuestados depositaban los teléfonos en la basura. Con los cálculos que hicimos determinamos que 2, 828, 273.6 baterías llegaron en el 2006 a nuestros vertederos, 2, 077, 449.3 baterías en el 2004, 1, 517, 356.7 en el 2002 y 757, 887 en el 2000. El total de baterías dispuestas en nuestro país desde el año 2000 al 2006 fueron aproximadamente 7, 180, 966.6. Tomando también en consideración que las baterías fueron reemplazadas en 1 o 2 ocasiones por algunos de los encuestados.

Basándonos en estos resultados y el análisis que hicimos sobre los metales peligrosos utilizados por las baterías de los teléfonos celulares determinamos que el cadmio, el cobalto, el níquel, y el manganeso son metales que exceden los límites mínimos de riesgo de la ASTDR y también aparecen en la lista de prioridad de sustancias peligrosas de CERCLA representan un potencial riesgo a la salud de las personas que residen en las comunidades aledañas a los vertederos. El litio, que es uno de los metales no listados, representa también un potencial riesgo a la salud. Cabe mencionar que éste está presente en las baterías bajo análisis que fueron las de Ni - Cd, Ni - MH y las baterías de litio. Cada uno de estos metales está entrando a los vertederos de nuestro país en cantidades diarias significativas.

También podemos concluir que muchas de las personas que se entrevistaron (59.4 %) carecían de conocimientos relacionados al reciclaje de los teléfonos celulares. Por otro lado, un 57.5 % de los encuestados mencionó que conocían la peligrosidad de algunos de los componentes de las baterías de los teléfonos celulares. Pero no hacían práctica de

métodos alternos a la disposición. Sin embargo, el 99.7 % de los encuestados menciono que están dispuestos a reciclar su teléfono celular de contar con métodos accesibles para hacerlo. Hay que señalar que hay una falta de información por parte de los encuestados que le añade a que se guarden en una gaveta o se depositen los teléfonos celulares a la basura. Además podemos concluir que no existen métodos adecuados para la recolección de estos aparatos que los llevaría a poder ser reciclados y así abandonar la corriente de basura.

### **Recomendaciones**

Luego de evaluar los riesgos a la salud de la disposición de las baterías de los teléfonos celulares, recomendamos lo siguiente:

- Hacer un análisis exhaustivo de los metales contenidos en las baterías de teléfonos celulares en los vertederos de nuestro país para determinar con exactitud el peso de las baterías en la contaminación de cuerpos de aguas subterráneos y superficiales causados por las escorrentías de lluvia y percolación de los metales.
- Realizar pruebas a las personas con potencial impacto para determinar si su salud se esta viendo afectada por estos metales y esta practica.
- Establecer programas de educación a las personas sobre la peligrosidad de los metales contenidos en las baterías. Enseñar sobre métodos alternos a la disposición; no tan solo de las baterías de los teléfonos celulares, sino también de otros aparatos electrónicos que cuentan con este tipo de baterías.

- Realizar gestiones gubernamentales para que aprueben leyes y programas que ayuden al reciclaje de estos dispositivos de energía con el fin de proveerles a la gente las herramientas necesarias para lograr el reciclaje de los mismos. Además comprometer a las compañías relacionadas con estos equipos para que tomen parte fundamental en el recogido de los aparatos en desuso, que fueron en algún momento propiedad de ellos, mediante incentivos a los subscriptores.
- Emular a países comprometidos y que entienden sobre la prioridad de este asunto en cuestión de aplicabilidad de leyes y programas correspondientes. Ejemplo: Unión Europea y estado de California.

### **Limitaciones**

Dado la complejidad y amplitud de un trabajo de este tipo, puede que algunos de los componentes del mismo no se desarrollaron a cabalidad. Teniendo en consideración que existen factores que no se pueden controlar. Entre las limitaciones de este estudio, tenemos:

- La honestidad de la información que nos brindo el público al momento de contestar el cuestionario y ofrecer la información.
- La localidad pudo no favorecer este tipo de estudio ya que en ocasiones las personas andan de prisa y consideran que se le esta haciendo perder el tiempo.
- El lugar escogido para realizar el estudio. Extiéndase la localización geográfica de un pueblo fuera de la zona metropolitana. Esto pudo afectar la amplitud de la muestra.

- La muestra pudo haber sido otro factor, ya que al extrapolar los datos para hacerlo a nivel Puerto Rico puede hacer que varíen los resultados en cierto modo.
- Crear una base de datos de información de detalles de Puerto Rico que faciliten la búsqueda al momento de realizar este y otros trabajos.

Al concluir nuestro estudio podemos decir que las baterías de los teléfonos celulares representan un potencial riesgo a la salud de algunos puertorriqueños. Los metales como el cadmio, el cobalto, el níquel, el cinc, el manganeso, el aluminio y el litio pueden en cierto tiempo ser factores de enfermedades que afecten a nuestra gente si no se toman medidas que detengan la disposición de las baterías a los sistemas de relleno sanitarios del país. Es importante señalar que hace falta más información y educación con referencia a estos temas ambientales.

## LITERATURA CITADA

Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico. (2003). *ADS lista para la portabilidad numérica*. Extraído febrero 3, 2007. <http://www.ads.gobierno.pr/secciones/comunicados/2003/ADS-Portabilidad-Numerica.htm>

Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico. (2003). *ADS somete propuesta a la EPA para recogida de celulares en Puerto Rico*. Extraído febrero 3, 2007. [http://www.ads.gobierno.pr/ehost/comunicados/2003/comunicado-celulares\\_5-may.hym](http://www.ads.gobierno.pr/ehost/comunicados/2003/comunicado-celulares_5-may.hym)

Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico. (2004). *Operación Cumplimiento: Plan de Cumplimiento municipio de Vega Baja*. San Juan, PR.

Autoridad de Desperdicios Sólidos de Puerto Rico. (2004). *Plan estratégico para el manejo de los residuos sólidos en Puerto Rico*. (CEE-SA-04-7859). San Juan, PR.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2000). *Resumen de salud pública de Manganeso*. Cas#: 7439-96-5. Atlanta, GA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2004). *Resumen de salud pública de Cobalto*. Cas#: 7440-48-4. Atlanta, GA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2004). *Resumen de salud pública de Cobre*. Cas#: 7440-50-8. Atlanta, GA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2005). *Resumen de salud pública de Cinc*. Cas#: 7440-66-6. Atlanta, GA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2005). *Resumen de salud pública de Níquel*. Cas#: 7440-02-0. Atlanta, GA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2005). *Resumen de salud pública de Percloratos*. Cas#: 10034-81-8, 7778-74-7, 7790-98-9, 7601-89-0, 7791-03-9. Atlanta, GA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2006). *Resumen de salud pública de Aluminio*. Cas#: 7429-90-5. Atlanta, GA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2008). CERCLA Priority List of Hazardous Substances. Extraído Marzo 28, 2008. <http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/>

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2008). 2007 CERCLA Priority List of Hazardous Substances. Extraído Marzo 28, 2008. <http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/07list.html>

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2007). *ATSDR Minimal Risk Levels (MRL's)*. Extraído Marzo 28, 2008. [http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/pdfs/mrllist\\_11\\_07.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/pdfs/mrllist_11_07.pdf)

Basel Convention. (2006). *Mobile phone partnership initiative project 4.1: Guideline on the awareness raising – design considerations*.

Bernardes, A.M., Espinosa, D.C.R. & Tenorio, J.A.S. (2004). Recycling of batteries: a review of current process and technologies. *Journal of Power Source*. 130: 291-298

Bryant, C. (2003). The hidden life of batteries. *Sierra*. 26-27.

Central Intelligence Agency: The World Factbook. (2007). *Puerto Rico*. Extraído Marzo 2, 2007. <http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/rq.html>

Commission of the European Communities. (2003). *Directive of the European parliament and of the council on batteries and accumulators: Extended Impact Assessment*. (SEC(2003)1343) Brussels, EU.

Correia, A y Martín, M. (2004). Potencial Impacto ambiental de la disposición final de baterías usadas de teléfonos celulares en vertederos municipales. *Revista Ingeniería UC*, 11(3) 41-51.

Department of Toxic Substances Control. (2006). *New law for recycling cellular phones: California's cell phone recycling act of 2004*. AB2901. California, USA.

Environmental Protection Agency. (1996). Universal Waste Rule. EPA530-F-95-025. Washington, DC

Environmental Protection Agency. (1998). *Persistent, Bioaccumulative and Toxic Chemicals*. Washington, DC: Printers National Environmental Assistance Center

Environmental Protection Agency. (2002). *The Battery Act: law creates public health, environmental safeguards through phaseout of mercury batteries and other important requirements*. EPA300-N-02-002. Washington, DC.

Environmental Protection Agency. (2004). *Mobile phone should be classified as hazardous waste according to government funded study*. Extraído marzo 2, 2007. <http://www.collectivegood.com/news.asp>

Environmental Protection Agency. (2005). *El ciclo de vida de un teléfono celular*. EPA530-H-04-002S. Washington, DC.

Espinosa, D.C.R., Bernardes, A.M. & Tenório, J.A.S. (2004). An overview on the current processes for recycling of batteries. *Journal of Power Source*. 135: 311-319.

Everedy Battery Company. (2007). Product Safety Data Sheet: Nickel Cadmium Batteries.. Extraído Marzo 29, 2007. <http://www.energizer.com>

Everedy Battery Company. (2007). Product Safety Data Sheet: Lithium Ion Batteries Extraído Marzo 29, 2007. <http://www.energizer.com>

Everedy Battery Company. (2007). Product Safety Data Sheet: NiMH Batteries. Extraído Marzo 29, 2007. <http://www.energizer.com>

- Federal Communications Commission. (2006). *Local Telephone Competition: Status as of December 31, 2004*. Washington, DC.
- Fishbein, B. (2002). *Waste in the Wireless World; The Challenge of Cell Phones*. New York: INFORM, Inc.
- Florida Department of Environmental Protection. (2005). *Take-back requirements for battery manufacturers and marketers*. Extraído febrero 25, 2007. <http://www.dep.fl.us/waste/categories/batteries/poages/takebackrequirements.htm>
- Gill, J., Singh, H. y Nugent, K. (2003). Acute lithium intoxication and Neuroleptic Malignant Syndrome. *Pharmacotherapy*. 23(6):811-815.
- Guernsey, L. (2002). Phones in the Drawer or in the Trash, or to a Good Cause. *The New Yorks Times*. P. 24 28 de febrero.
- Internacional Precious Metals Institute. (2003). *Environmental sound management used mobile telephones*. Florida, USA.
- Instituto Nacional de Ecología. (2006). La contaminación por pilas y baterías en México. Extraído enero 15, 2007. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/438/cap5.html>
- Jacott, M. (2005). Tóxicos en la industria electrónica. *Greenpeace*. 1-10.
- Kierkgaard, S. (2007). Charging up the batteries: Squeezing more capacity an power into the new EU Battery directive. *Computer law and security report*. 23:359-364.
- Linden, D & Reddy, T. (2001). *Handbook of Batteries*. 3ra edición. McGraw Hill. USA
- Lipscomb. T., Totten, J., Cook, R. y Lesch, W. (2007). Cellular phone etiquette among college students. *Internatiuonal journal of consumer studies*. 31:46-56



- Madani, A. (2003, Diciembre). The Worldwide rechargeable Battery Market. *Taipei Power Forum & Exhibition*. Taipei, Taiwan.
- Monteiro, M., Moreira, D., Chinelatto, M., Nancente, P. y Alcantara, N. (2007) Characterization and recycling of polymeric components present in cell phones. *Journal of polymeric environmental*. 15:195-199.
- Neira, J.; Favret, L.; Fuji, M.; Miller, R.; Mahdavi, S. & Doctori, V. (2006). *End-of-Life Management of Cell Phones in the United States*. Disertación de tesis de maestría. University of California, Santa Barbara, CA.
- Miranda, M & Hale, B. (1999). *Re-covering all the bases: A comparison of landfills and resource recovery facilities in Puerto Rico*. Disertación de tesis de doctorado. Nicholas School of the Environment, Duke University, NC.
- New York State Department of Environmental Conservation. (2006). *Chapter 730 Laws of 2006, Wireless Telephone Recycling*. Extraído marzo 14, 2007. <http://www.dec.state.ny.us/website/dshm/redrecy/chap730.html>
- Richie, A. (2004). Electronic Trash: managing waste in the new century. *LBJ Journal of Public Affairs*. 17: 80-87.
- Rydh, C. (2003). Impact on metal flows arising from the use of portable rechargeable batteries. *The science of the Total Environment*. 302:167-184.
- Rydh, C. y Karlstrom, M. (2002). Life cycle inventory of recycling portable nickel – cadmium batteries. *Resources, Conservation and Recycling*. 34:289-309.
- Shih, E.; Bahl, P. & Sinclair, M. (2002). Wake on Wireless: an event driven energy saving strategy for battery operated devices. *Mobicom*. 160-171.
- Sidener, J. (2004). Recycling, legislation are among efforts to reduce phones dumped in landfills. *Union Tribune*. 17 de mayo
- Stephen, I. y Michael, W.B. (1981). Handbook in research and evaluation. (2<sup>da</sup> ed.) San Diego, California, EE.UU.: Edits Publisher. Pp. 191-193.

Villeneuve, M. (2004). *Manual de practica: Desarrollo de destrezas básicas de investigación*. San Juan, P.R.

United States. Census Bureau. (2000). *Puerto Rico 2000: Perfil demográfico*. Extraído abril 10, 2007. <http://www.census.gov>.

United States Geological Survey. (1996). *Atlas of ground-water resources in Puerto Rico And The U.S. Virgin Islands*. Water-resources investigation report 94-4198-20-29.

United States Geological Survey. (2006). *Recycled cell phones- a treasure trove of valuable metals*. Fact Sheet 2006-3097. Denver, CO.

Volta, A. (2006). Batteries. *World Watch*. 19(2):1

## **TABLAS**

Tabla 1.

*Datos sociodemográficos: Sexo*

---

<b>Sexo</b>	<b>Cantidad de individuos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Masculino	166	43.8
Femenino	213	56.2
Total	379	100

---

Tabla 2.

*Datos sociodemográficos: Edad*

<b>Edad</b>	<b>Cantidad muestreada</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
18 – 27	80	21.1
28 – 37	120	31.7
38 – 47	72	19.0
48 – 57	63	16.6
57 – más	44	11.6
Total	379	100

Tabla 3.

*Datos sociodemográficos: Educación*

<b>Educación</b>	<b>Cantidad de individuos con el grado académico</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Escuela Superior	46	12.1
Programa Técnico	18	4.8
Asociado	55	14.5
Bachillerato	207	54.6
Maestría o Doctorado	53	14.0
<b>Total</b>	<b>379</b>	<b>100</b>

Tabla 4.

*Teléfonos celulares por hogar*

<b>Cantidad de teléfonos celulares</b>	<b>Número de personas con esta cantidad</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
1	78	20.6
2	161	42.5
3	85	22.4
4	35	9.2
5 o más	20	5.3
<b>Total</b>	<b>379</b>	<b>100</b>

Tabla 5.

*Frecuencia con la que se cambian los teléfonos celulares por individuo*

---

<b>Frecuencia de Cambio</b>	<b>Cantidad de individuos que realizan el cambio</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
6 meses	12	3.2
1 año	64	16.9
1.5 años	24	6.3
2 años	279	73.6
Total	379	100

---



Tabla 6.

*Cambio de batería durante el servicio celular*

Cambio de batería	Cantidad muestreada	Porcentaje (%)	Cantidad de veces que se cambio la baterías		Porcentaje (%)	
			1	2		
Si	52	13.7	40	12	76.9	23.1
No	327	86.3		N/A		N/A
Total	379	100		52		100

Tabla 7.

*Batería utilizada por los teléfonos celulares*

<b>Tipo de Batería</b>	<b>Número de baterías utilizadas en los teléfonos celulares</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Níquel – cadmio	8	2.1
Níquel – metal hidruro	7	1.8
Ion de litio	364	96.1
Total	379	100

Tabla 8.

*Uso del teléfono fuera de servicio*

---

<b>Uso del teléfono fuera de servicio</b>	<b>Cantidad de teléfonos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Guardado en la gaveta	244	64.3
Lo tira a la basura	81	21.3
Lo regala	51	13.4
Lo vende	4	1.0
Total	379	100

---

Tabla 9.

*Conocimiento sobre el reciclaje del teléfono celular y sus componentes*

---

<b>Conocimiento de reciclaje</b>	<b>Cantidad de individuos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Si conoce	154	40.6
No conoce	225	59.4
Total	379	100

---

Tabla 10.

*Conocimiento sobre la peligrosidad de algunos de los componentes de los teléfonos celulares*

---

<b>Conocimiento de peligrosidad</b>	<b>Cantidad de individuos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Si conoce	218	57.5
No conoce	161	42.5
Total	379	100

---

Tabla 11.

*Disponibilidad para reciclar los teléfonos celulares y sus componentes de tener la accesibilidad*

---

<b>Disponibilidad para reciclar</b>	<b>Cantidad de individuos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Si reciclaría	378	99.7
No reciclaría	1	0.3
Total	379	100

---

Tabla 12.

*Teléfonos celulares y baterías de teléfonos celulares depositadas en los vertederos de Puerto Rico*

<b>Año</b>	<b>Unidades activas por año</b>	<b>Teléfonos celulares depositados en los vertederos</b>	<b>Baterías de los teléfonos celulares depositadas en los vertederos</b>
2006	2,682,000 <sup>1</sup>	2,295,792	2,828,273.6
2004	2,076,698 <sup>2</sup>	1,777,653.4	2,077,449.3
2002	1,516,808 <sup>2</sup>	1,298,387.6	1,517,356.7
2000	757,613 <sup>2</sup>	648,516.7	1757,887
Total	7,033,119	6,020,349.7	7,180,966.6

<sup>1</sup>CIA World Fact Book, 2007

<sup>2</sup> Federal Communications Commission, 2006

Tabla 13.

*Cantidad de baterías de teléfonos celulares depositadas en los vertederos de Puerto Rico*

<b>Año</b>	<b>Tipo de Batería</b>	<b>% de la batería en el mercado</b>	<b>Cantidad de baterías depositadas en los vertederos por tipo</b>
2006 <sup>1</sup>	Ni – Cd	2.1	59,393.1
	Ni - MH	1.8	50,908.9
	Litio - Ion	96.1	2,717,920.9
2004 <sup>2</sup>	Ni – Cd	0	0
	Ni - MH	12	249,293.9
	Litio - Ion	88	1,828,155.4
2002 <sup>2</sup>	Ni – Cd	0	0
	Ni - MH	34	515,901.3
	Litio - Ion	66	1,001,455.4
2000 <sup>2</sup>	Ni – Cd	2	15,157.7
	Ni - MH	56	424,416.7
	Litio - Ion	42	318,312.5

<sup>1</sup>Encuesta

<sup>2</sup> Madani, 2003



Tabla 14.

*Peso de los Principales componentes de las baterías de Níquel – Cadmio.*

<b>Componete</b>	<b>% de peso<sup>1</sup></b>	<b>Peso (gramos)</b>
Cadmio	22	24.2
Cobalto	2	2.2
Litio (Hidróxido de Litio)	4	4.4
Níquel	32	35.2

<sup>1</sup> Everedy Battery Company, 2007

Nota: El peso promedio de la batería de Níquel – Cadmio es de 110 gramos.

Tabla 15.

*Peso de los Principales componentes de las baterías de Níquel – Metal Hidruro.*

<b>Componete</b>	<b>% de peso<sup>1</sup></b>	<b>Peso (gramos)</b>
Aluminio	2	0.96
Cobalto	6	3.18
Litio (Hidróxido de Litio)	4	2.12
Manganeso	3	1.59
Níquel	50	26.5
Cinc	3	1.59

<sup>1</sup>Everedy Battery Company, 2007

Nota: El peso promedio de la batería de Níquel – Metal Hidruro es de 53 gramos.

Tabla 16.

*Peso de los Principales componentes de las baterías de Litio.*

---

<b>Componete</b>	<b>% de peso<sup>1</sup></b>	<b>Peso (gramos)</b>
Grafito	22	8.14
Litio (varios compuestos)	40	14.8

---

<sup>1</sup> Everedy Battery Company, 2007

Nota: El peso promedio de la batería de Litio es de 37 gramos.

Tabla 17.

*Cantidad de los principales metales de las baterías de Níquel – Cadmio depositadas en los vertederos desde el año 2000 al 2006.*

<b>Componentes de Batería de Ní – Cd</b>	<b>Año</b>				<b>Totales (gramos)</b>
	<b>2006</b>	<b>2004</b>	<b>2002</b>	<b>2000</b>	
Cadmio	1,333,813.1	0	0	366,816.3	500,197.4
Cobalto	111,999.6	0	0	33,346.9	145,346.5
Litio	223,999.2	0	0	66,693.9	290,693.1
Níquel	1,791,993.2	0	0	533,551	2,325,544

Tabla 18.

*Cantidad de los principales metales de las baterías de Níquel – Metal Hidruro depositadas en los vertederos desde el año 2000 al 2006.*

<b>Componentes de Batería de Ní – MH</b>	<b>Año</b>				<b>Totales (gramos)</b>
	<b>2006</b>	<b>2004</b>	<b>2002</b>	<b>2000</b>	
Aluminio	57,017.9	239,322.1	495,265.2	407,440	1,199,045.2
Cobalto	188,871.9	792,754.6	1,640,566.1	1,349,645.1	3,971,837.7
Litio	125,914.6	528,503	1,093,710.7	899,763.4	2,647,899.7
Manganeso	94,435.9	396,377.3	820,283.1	674,822.6	1,985,918.9
Níquel	1,573,993	6,606,288.3	13,671,384	11,247,042	33,398,707
Cinc	94,435.9	396,377.3	820,283.1	674,822.6	1,985,918.9

Tabla 19.

*Cantidad de los principales metales de las baterías de Litio depositadas en los vertederos desde el año 2000 al 2006.*

<b>Componentes de Batería de Litio</b>	<b>Año</b>				<b>Totales (gramos)</b>
	<b>2006</b>	<b>2004</b>	<b>2002</b>	<b>2000</b>	
Grafito	22,124,275	14,881,184	8,151,849.9	2,591,063.7	47,748,831
Litio	40,225,969	27,256,698	14,821,539	4,711,025	86,815,231

Tabla 20.

*Concentraciones mínimas de riesgo diarias de los metales contenidos en las baterías de los teléfonos celulares (ATSDR).*

<b>Metales</b>	<b>Minimal Risk Level (ATSDR) (mg/kg/day)</b>
Aluminio	1
Cadmio	0.0002
Cobalto	0.01
Cinc	0.3
Litio (Perclorato)	0.0007
Manganeso	0.07
Aluminio	0.02

Tabla 21.

*Concentración de los metales contenidos en las baterías de los teléfonos celulares depositados en los principales vertederos de Puerto Rico.*

		Vertedero y Cantidad de basura diaria (%)				
		Arecibo	Carolina	Humacao	Juncos	Toa Baja
		6.59	5.13	19.78	4.76	16.85
Tipo de batería	Contenido de metales	Concentración de metales (mg/Kg(basura)/día)				
Ni – Cd	Cadmio	0.0017	0.0013	0.0051	0.0012	0.0044
	Cobalto	0.0005	0.0004	0.0015	0.0004	0.0013
	Litio	0.0010	0.0008	0.0030	0.0007	0.0025
	Níquel	0.0079	0.0062	0.0238	0.0057	0.0203
	Aluminio	0.00005	0.0032	0.0123	0.0030	0.0105
Ni – MH	Cobalto	0.0136	0.0105	0.0407	0.0098	0.0346
	Litio	0.0090	0.0070	0.0271	0.0065	0.0231
	Manganeso	0.0068	0.0053	0.0203	0.0049	0.0173
	Níquel	0.1140	0.0887	0.3420	0.0823	0.2914
	Cinc	0.0068	0.0053	0.0203	0.0049	0.0173
Li – Ion	Litio	0.2962	0.2306	0.8939	0.2139	0.7574

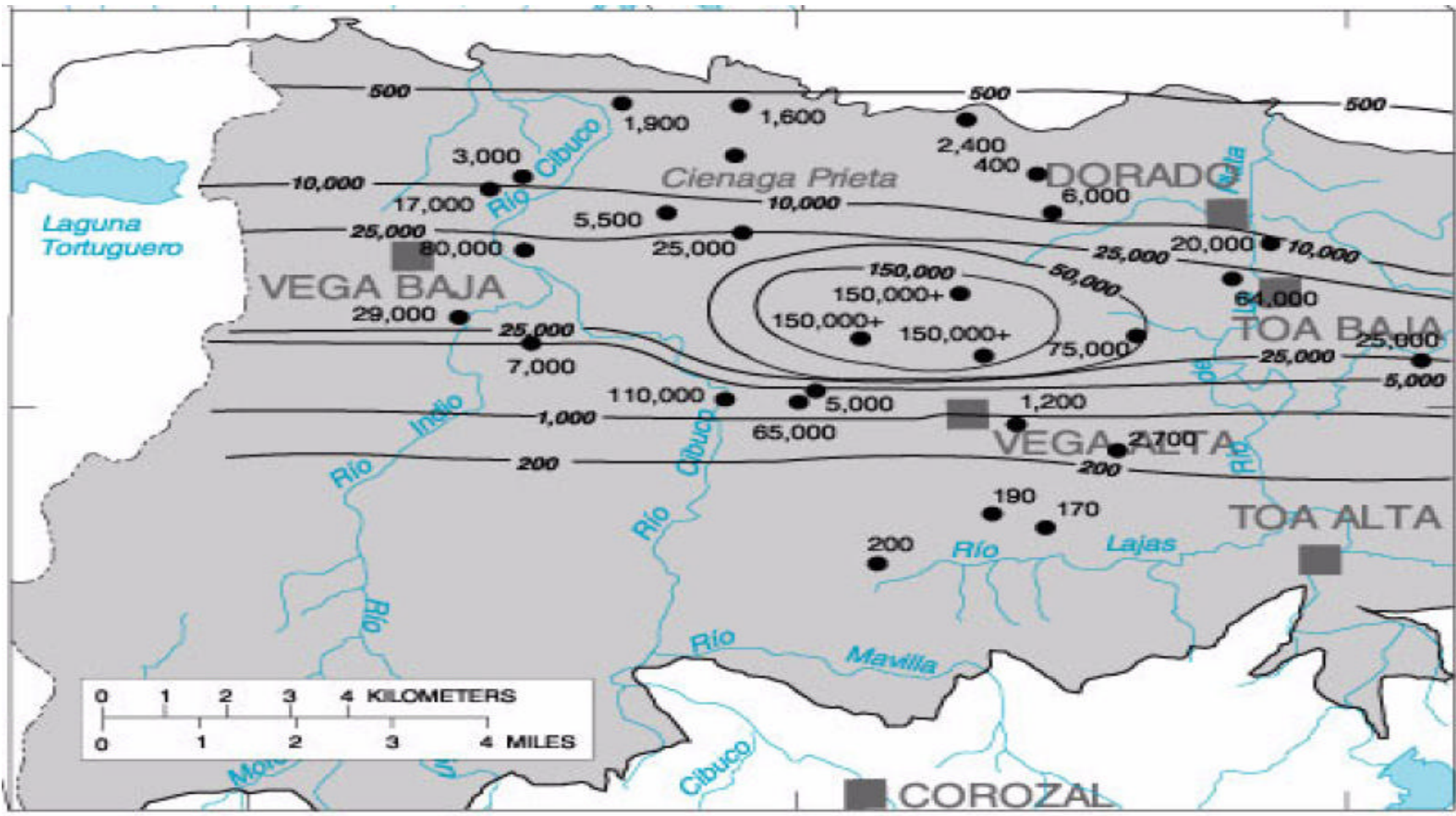


## **FIGURAS**



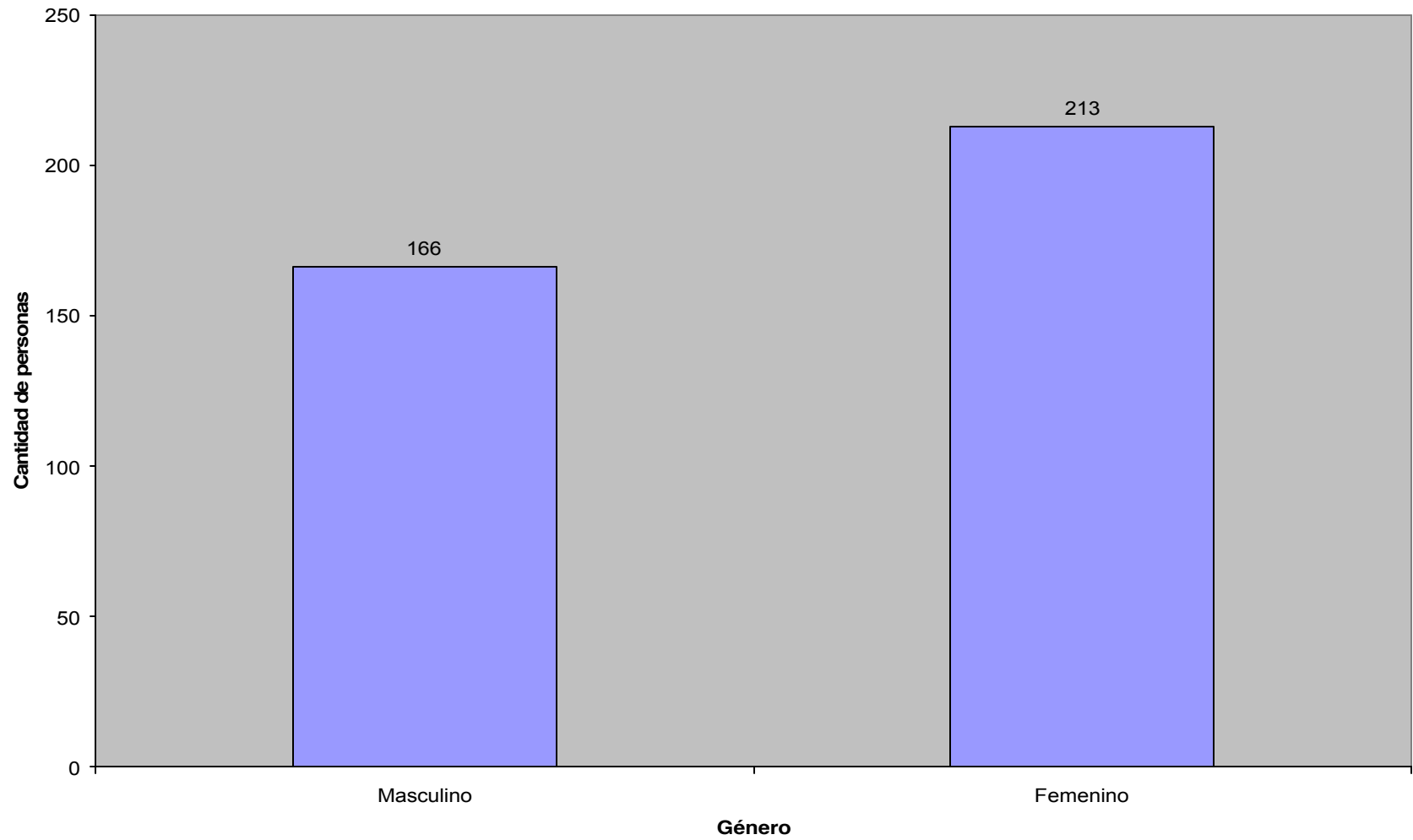
Fuente: Google 2007

Figura 1. Vertedero de Vega Baja



Fuente: USGS, 1996

Figura 2. Pozos localizados en el pueblo de Vega Baja.



*Figura 3.* Personas encuestadas por Género.

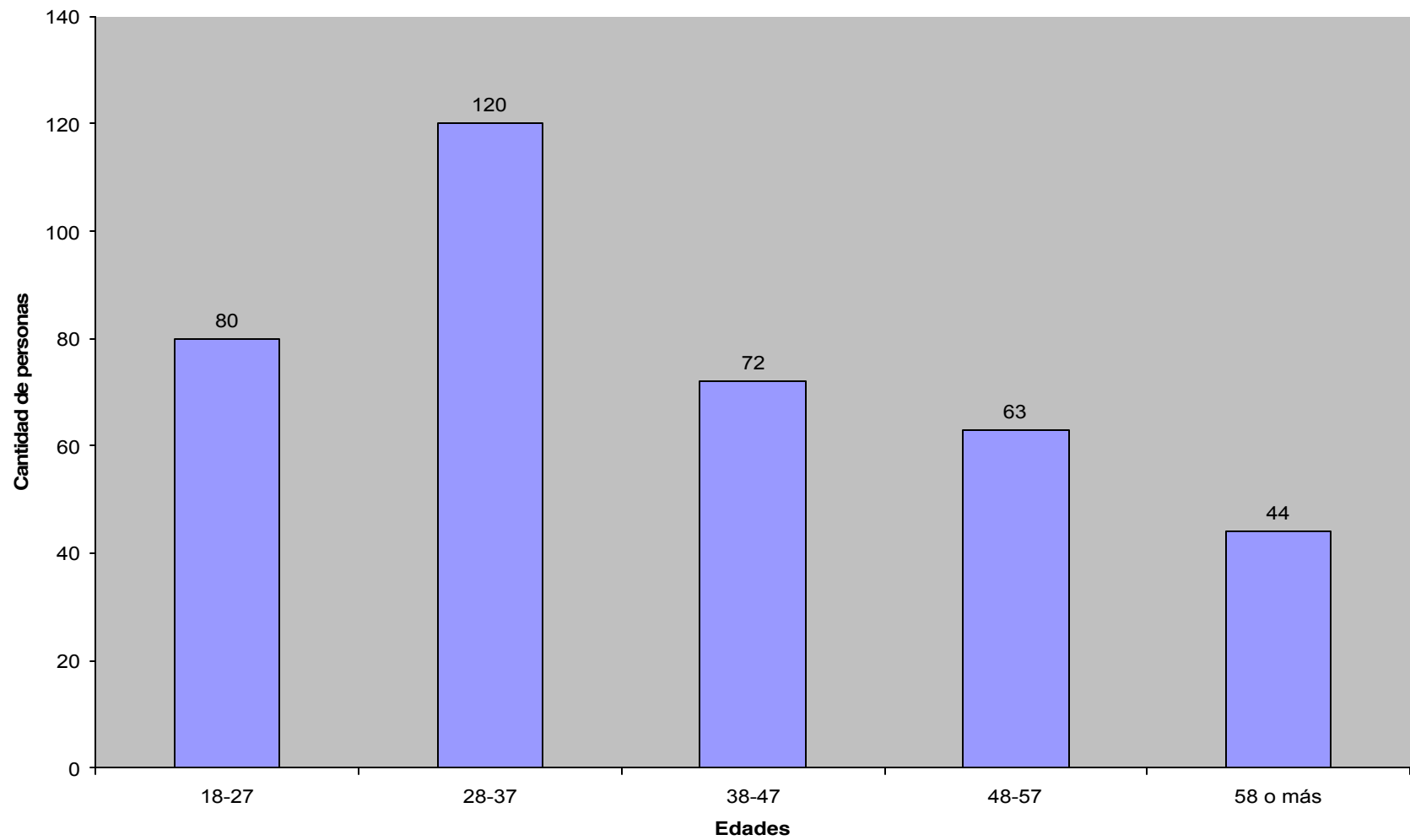


Figura 4. Edades de las personas encuestadas.

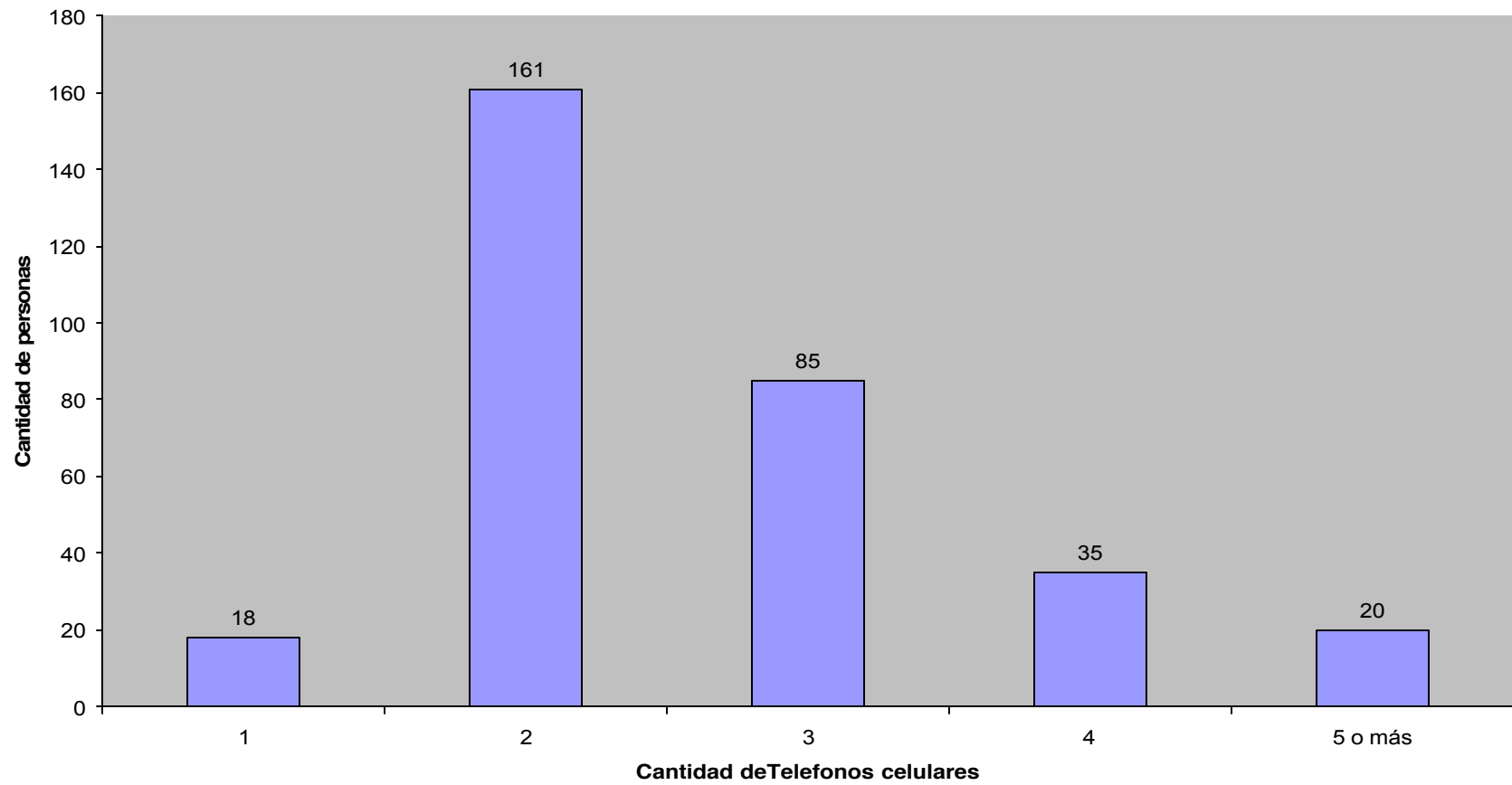


Figura 5. Cantidad de teléfonos por hogar.

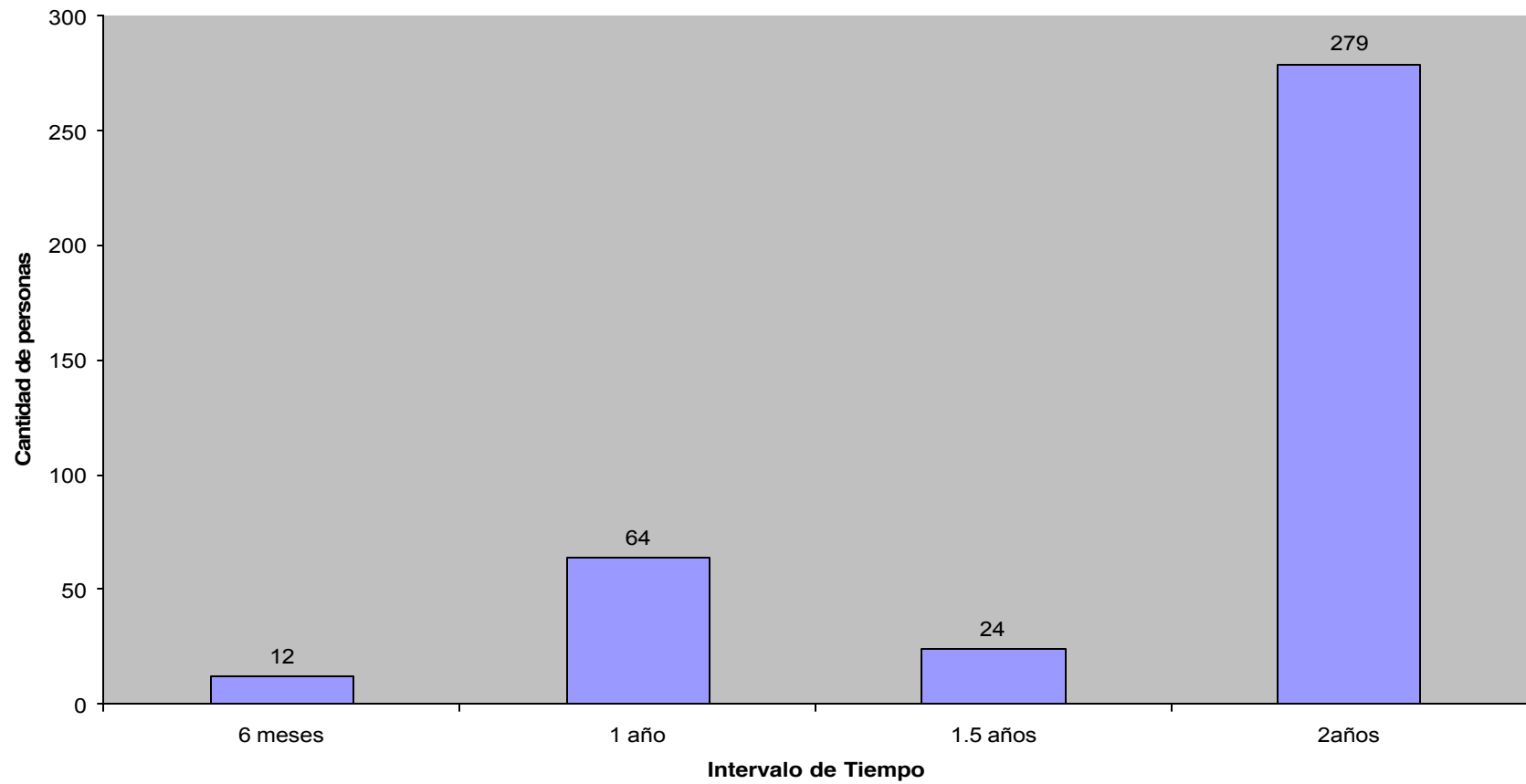


Figura 6. Frecuencia de cambio de los teléfonos celulares en P.R.

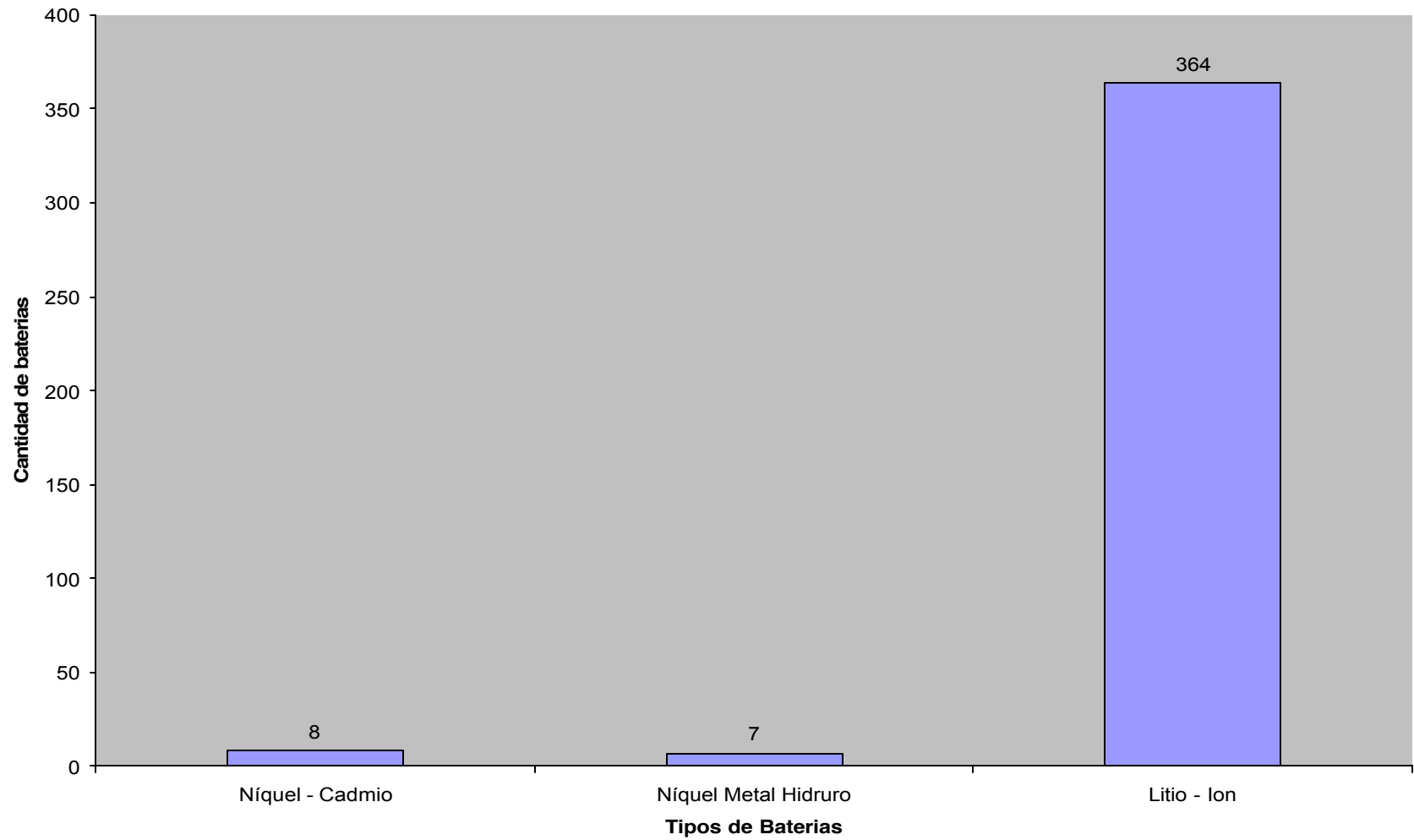


Figura 7. Tipos de baterías utilizadas por los teléfonos celulares.



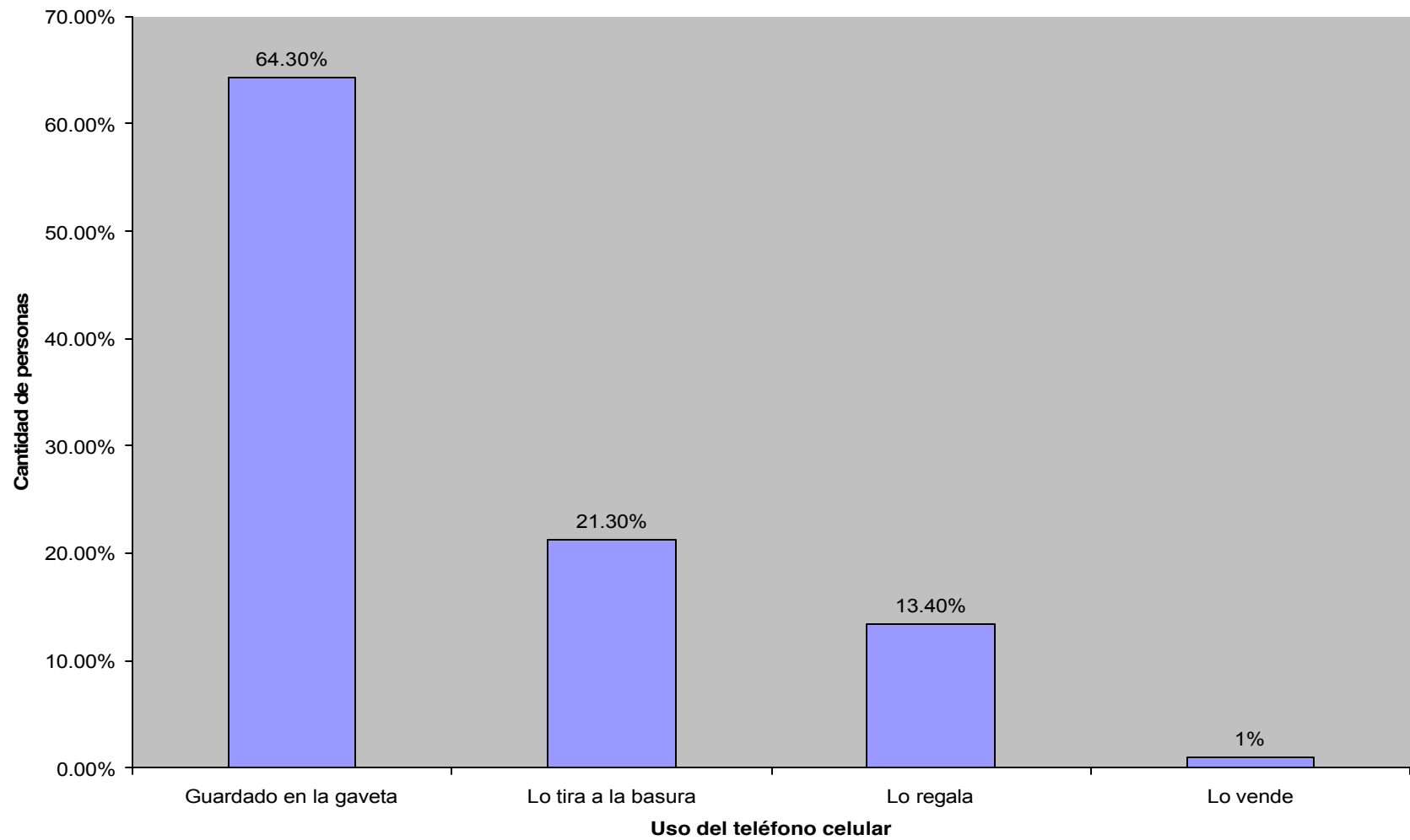


Figura 8. Uso del teléfono celular fuera de servicio.

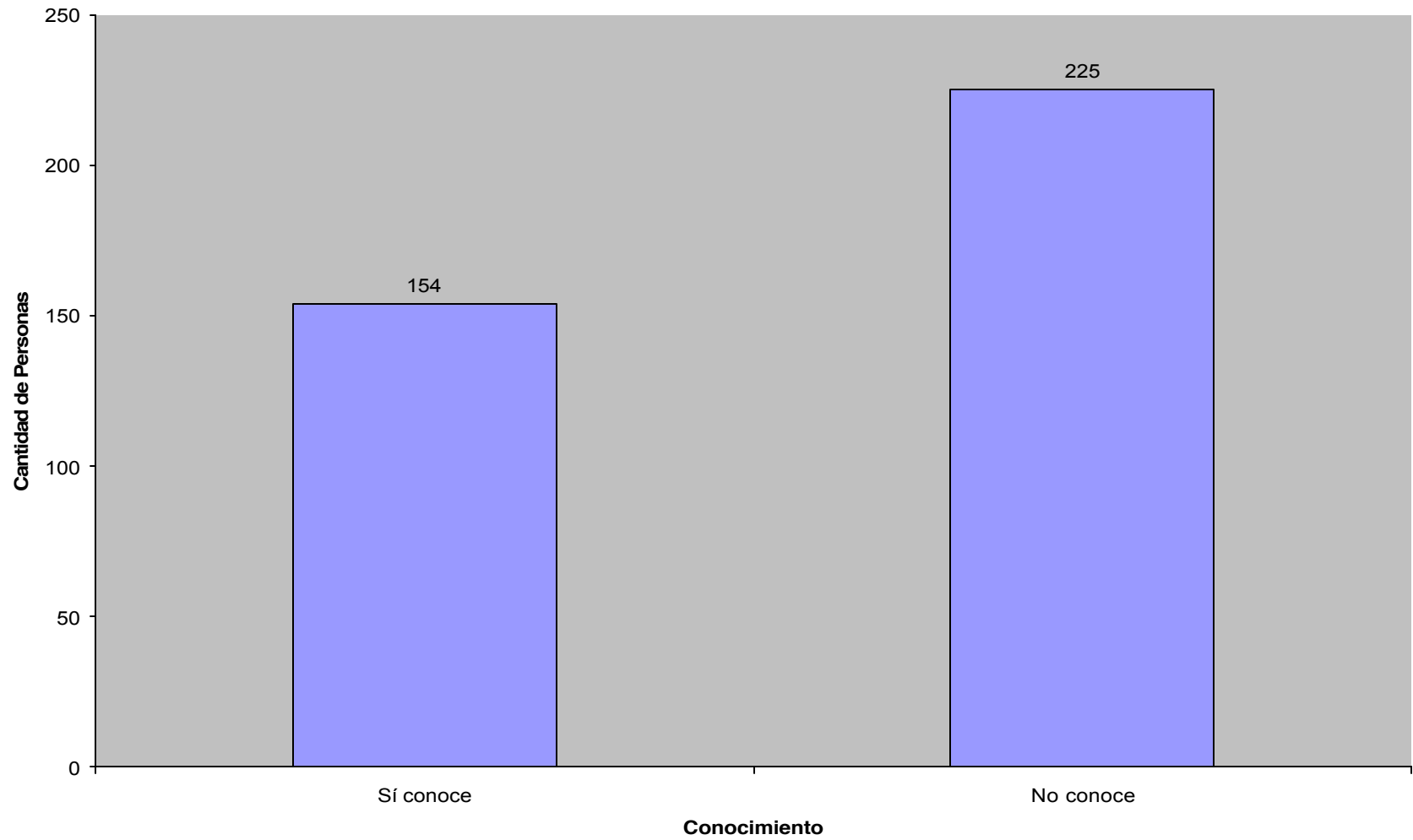


Figura 9. Conocimiento del reciclaje del teléfono celular y sus componentes.

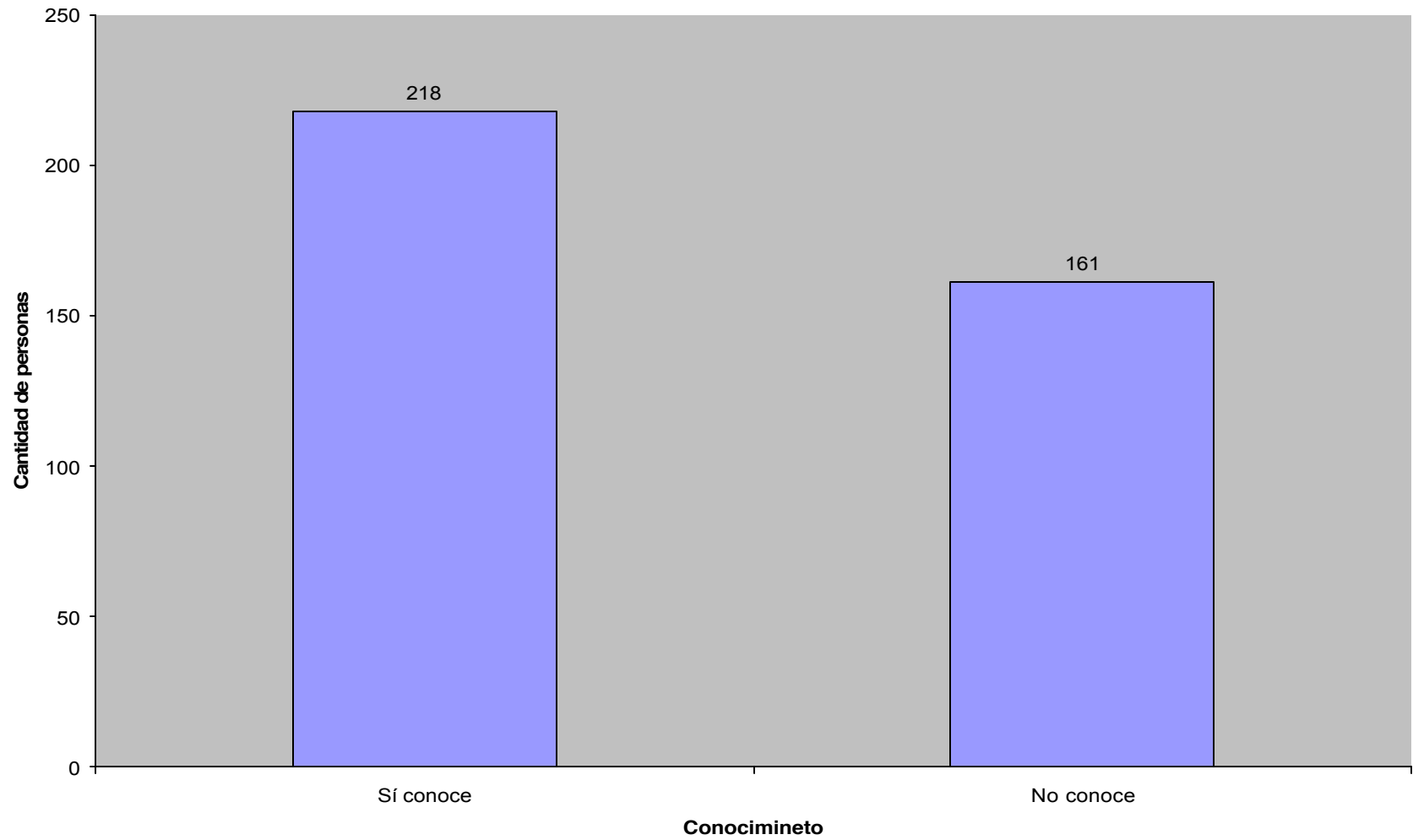


Figura 10. Conocimiento sobre la peligrosidad de algunos de los componentes de los teléfonos celulares.

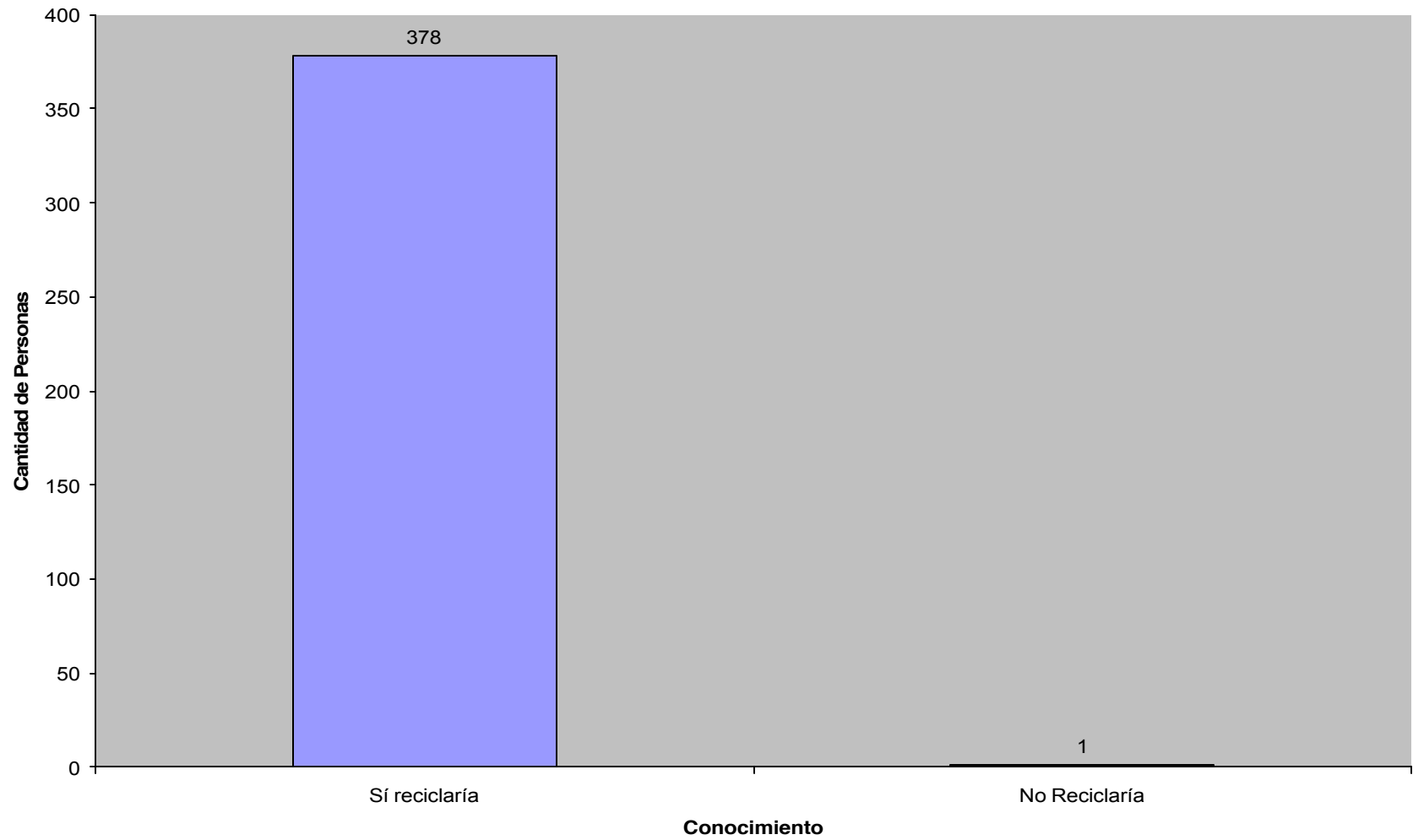


Figura 11. Disponibilidad para el reciclaje de los teléfonos celulares y sus componentes.

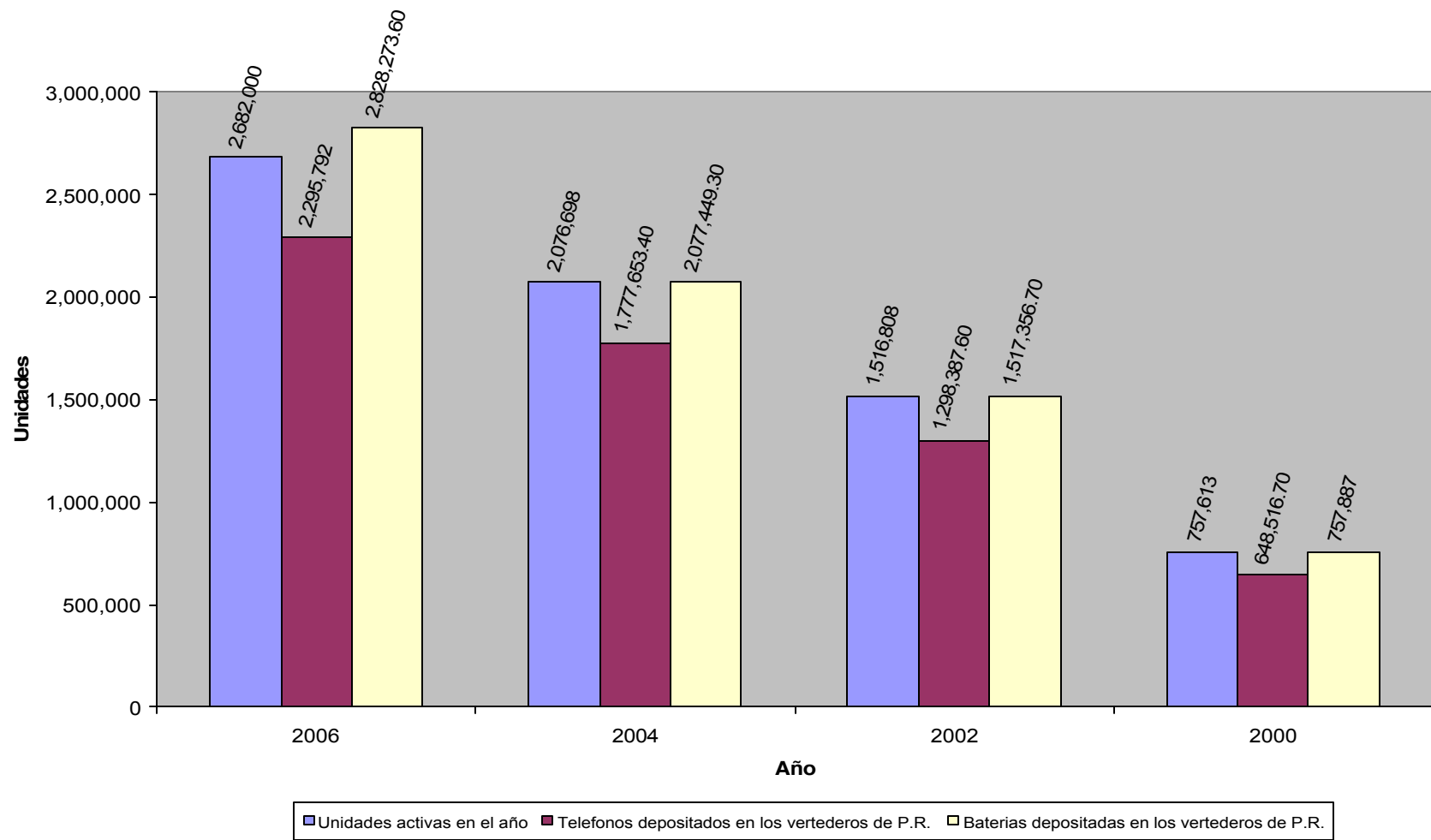


Figura 12. Teléfonos celulares y baterías de teléfonos celulares depositados en los vertederos de P.R. por año.

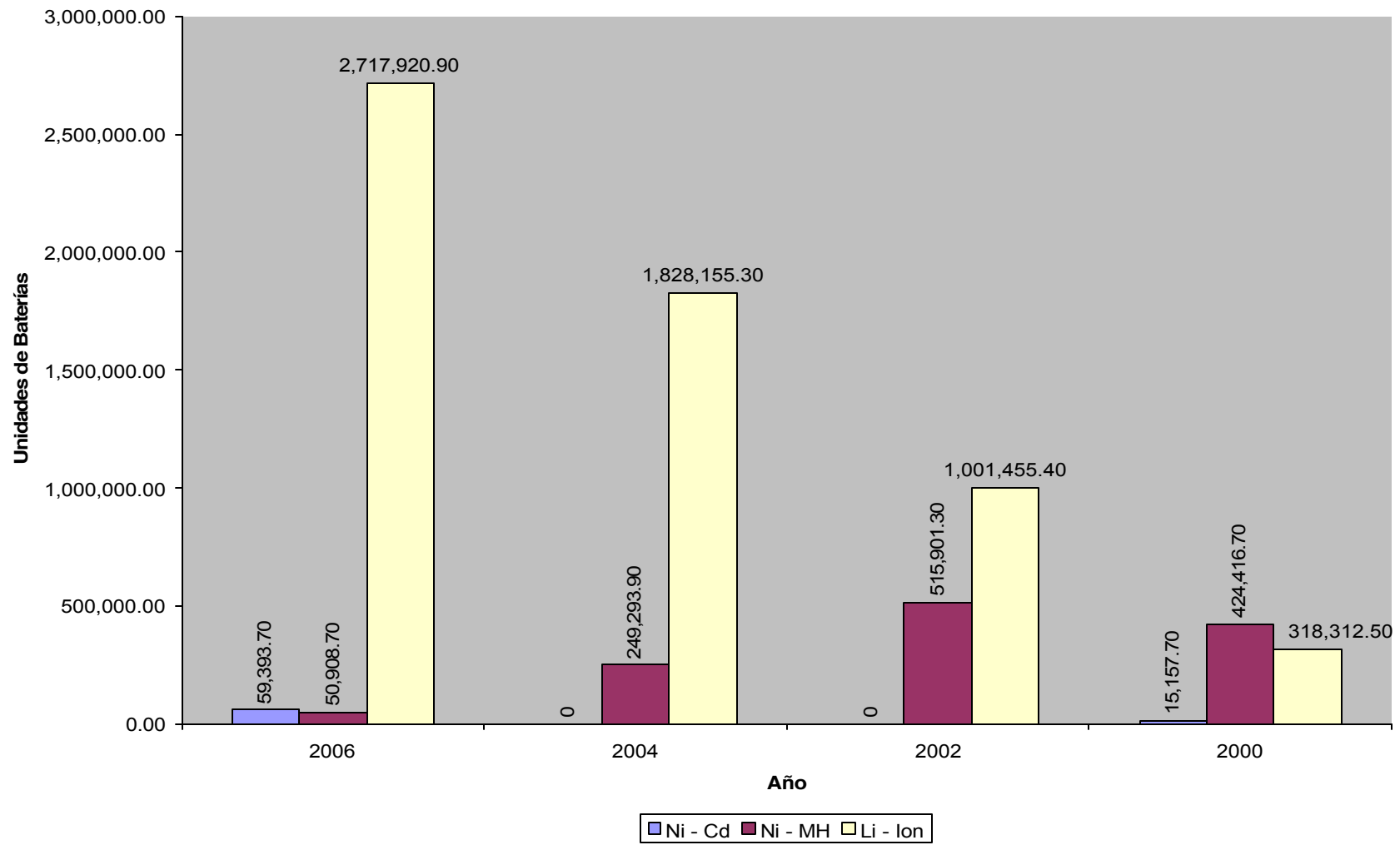


Figura 13. Mercado de baterías (%) de los teléfonos celulares del 2000 al 2006.

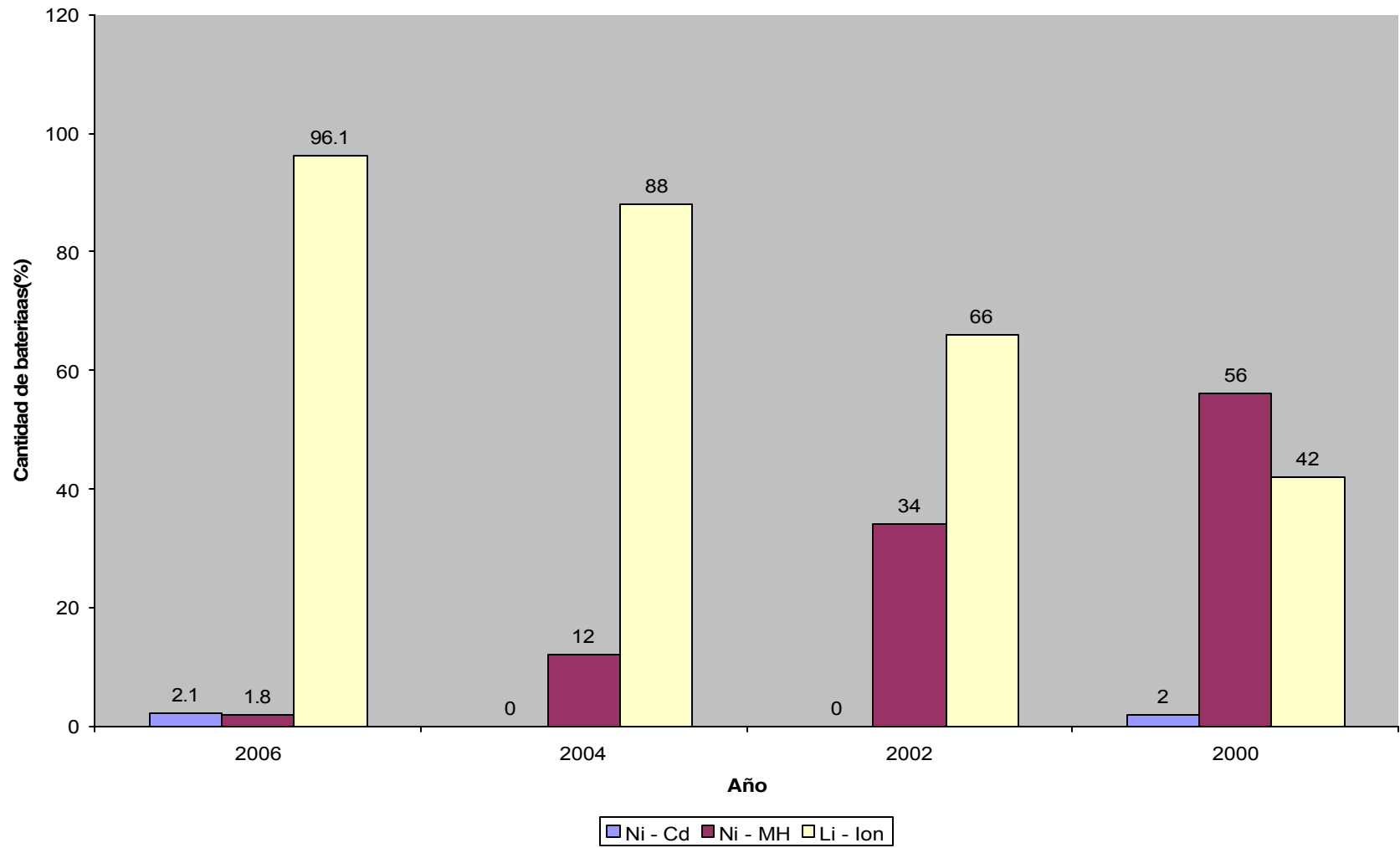


Figura 14. Mercado de Baterías (en unidades) desde el año 2000 al 2006.

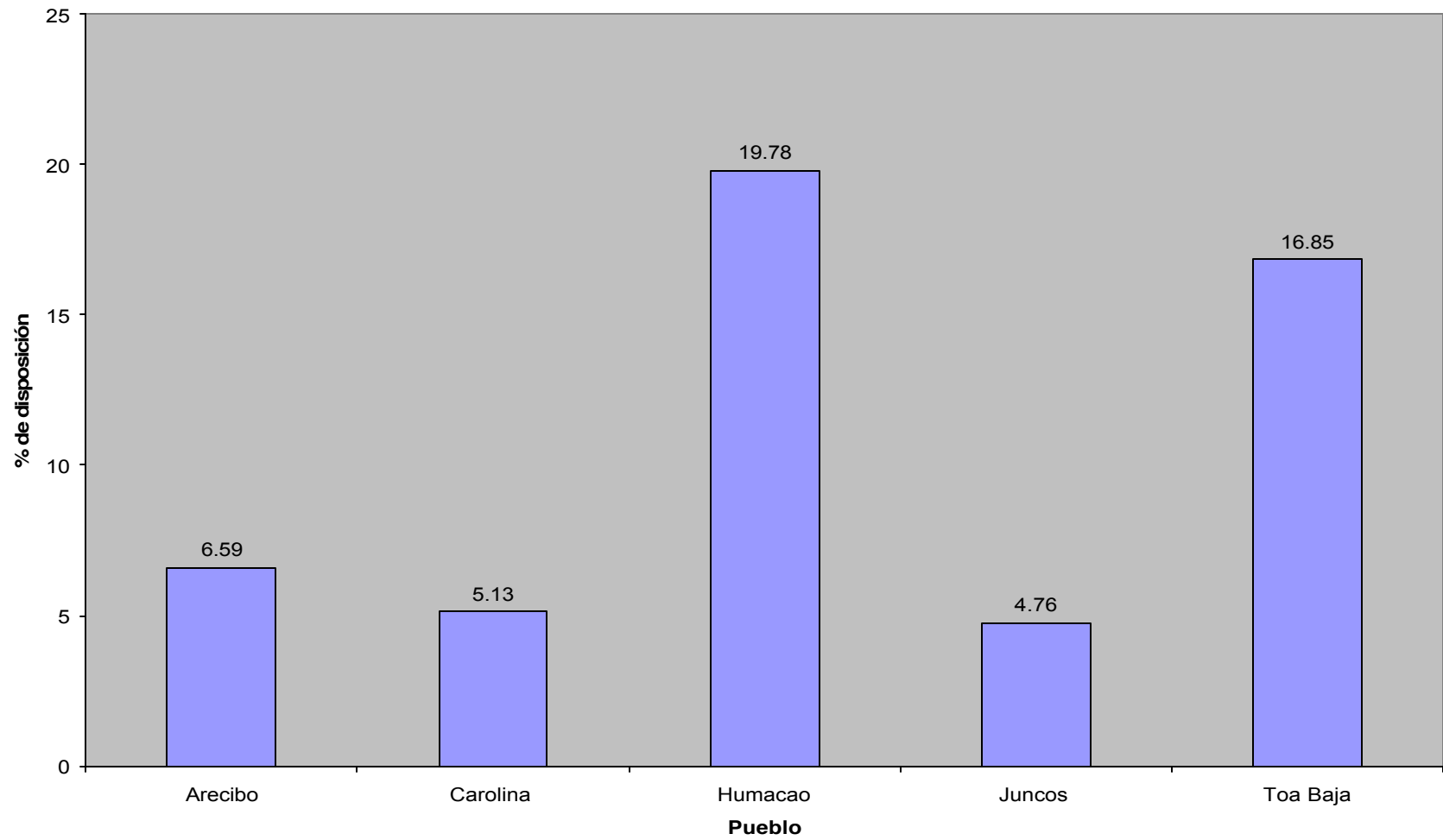


Figura 15. Cantidad de basura depositada en los principales vertederos de Puerto Rico.



## APÉNDICES

## **APÉNDICES 1**

### **Carta de ayuda a Prime Outlets**

25 de septiembre de 2007

A quien pueda interesar:

Mi nombre es José E. Rivera Cosme, estudiante graduado de la Universidad Metropolitana recinto de San Juan. En esta última curso estudios graduados en una Maestría en Ciencia en Gerencia Ambiental con una concentración en Evaluación y Manejo de Riesgo. Como requisito parcial para la obtención del grado se me requiere una Tesis de investigación. Mi Tesis tiene como título: Evaluación del impacto ambiental de la disposición final de las baterías de los teléfonos celulares y la percepción de riesgo de una sub-población en Puerto Rico.

Como parte de la metodología del estudio se estará llevando acabo una breve encuesta a sujetos voluntarios sobre el uso de los teléfonos celulares. Solicito por esté medio su autorización para llevar a cabo esta encuesta en la entrada o predios de los Prime Outlets. Incluyo para su evaluación el cuestionario a ser implementado. Cualquier información adicional que requieran del trabajo pueden contactarme al 787-379-8628 o con mi mentor la Dra. Zayas al 787-766-1717 ext. 6462.

Cordialmente,

José E. Rivera Cosme  
Estudiante - UMET

## **APÉNDICES 2**

### **Cuestionario**

Universidad Metropolitana  
Escuela de Asuntos Ambientales  
Programa de Maestría en Gerencia Ambiental

**Tesis:** *Evaluación del impacto ambiental de la disposición final de las baterías de los teléfonos celulares y la percepción de riesgo de una sub-población en Puerto Rico.*

**Instrucciones:**

Escoja la mejor opción

**Datos Sociodemográficos:**

1. Sexo
  - a. Masculino
  - b. Femenino
  
2. Edad
  - a. 18 – 27
  - b. 28 – 37
  - c. 38 – 47
  - d. 48 – 57
  - e. 57 - más
  
3. Educación.
  - a. Escuela Superior
  - b. Programa Técnico
  - c. Asociado
  - d. Bachillerato
  - e. Maestría ó Doctorado

**Encuesta:**

1. ¿Cuántos teléfonos celulares hay en su hogar?
  - a. 1
  - b. 2
  - c. 3
  - d. 4
  - e. 5 o mas
  
2. ¿Con que frecuencia cambia usted de teléfono celular?
  - a. 6 meses
  - b. 1 año
  - c. 1.5 años
  - d. 2 años



Ana G. Mendez University System  
**Institutional Review Board (IRB)**

Protocol No. 01-015-07  
Approval Date November 6, 07  
Expiration Date November 6, 07  
Signature \_\_\_\_\_

3. Durante el tiempo que ha tenido el teléfono, ¿ha cambiado la batería?
  - a. Si, \_\_\_\_\_ veces
  - b. no
4. ¿Que tipo de batería utiliza su teléfono celular?
  - a. níquel-cadmio
  - b. níquel-metal hidruro
  - c. Ion de litio
5. Cuando cambia usted de teléfono, ¿que hace con este?
  - a. lo guarda en una gaveta
  - b. lo tira a la basura
  - c. lo regala
  - d. lo vende
6. ¿Sabe usted que los componentes de su teléfono celular son reciclables?
  - a. si
  - b. no
7. ¿Conoce usted que algunos de los componentes de los teléfonos celulares, como las baterías, contienen elementos peligrosos a la salud?
  - a. si
  - b. no
8. ¿Reciclaría el teléfono celular y sus componentes de tener accesible el servicio?
  - a. Si
  - b. No

 Ana G. Mendez University System  
Institutional Review Board (IRB)  
Protocol No. 01-015-07  
Approval Date November 6, 07  
Expiration Date November 6, 08  
Signature \_\_\_\_\_

### **APÉNDICES 3**

#### **Tabla de Stephen y Michael**

TABLE FOR DETERMINING NEEDED SIZE  $S$  OF A RANDOMLY CHOSEN SAMPLE FROM A GIVEN FINITE POPULATION OF  $N$  CASES SUCH THAT SAMPLE PROPORTION  $p$  WILL BE WITHIN  $\pm .05$  OF THE POPULATION PROPORTION  $P$  WITH A 95 PERCENT LEVEL OF CONFIDENCE

$N$	$S$	$N$	$S$	$N$	$S$
10	10	220	140	1200	291
15	14	230	144	1300	297
20	19	240	148	1400	302
25	24	250	152	1500	306
30	28	260	155	1600	310
35	32	270	159	1700	313
40	36	280	162	1800	317
45	40	290	165	1900	320
50	44	300	169	2000	322
55	48	320	175	2200	327
60	52	340	181	2400	331
65	56	360	186	2600	335
70	59	380	191	2800	338
75	63	400	196	3000	341
80	66	420	201	3500	346
85	70	440	205	4000	351
9	73	460	210	4500	354
95	76	480	214	5000	357
100	80	500	217	6000	361
110	86	550	226	7000	364
120	92	600	234	8000	367
130	97	650	242	9000	368
140	103	700	248	10000	370
150	108	750	254	15000	375
160	113	800	260	20000	377
170	118	850	265	30000	379
180	123	900	269	40000	380
190	127	950	274	50000	381
200	132	1000	278	75000	382
210	136	1100	285	100000	384



## **APÉNDICES 4**

### **Carta de autorización del IRB**



**AGUMS Office of Regulatory Compliance  
Institutional Review Board (IRB)**

**Date:** November 6, 2007

**Protocol Number:** 01-015-07

**Principal Investigator/Student:** José E. Rivera Cosme

**Department / Division:** Universidad Metropolitana-Asuntos Ambientales

**Mentor:** Beatriz Zayas, Ph.D.

**Title:** *Evaluación del Impacto Ambiental de la Disposición de las Baterías de Teléfonos Celulares y la Percepción de Riesgo de una Sub-Población de Puerto Rico.*

This is to certify that the above referenced research proposal/protocol received by the Research Compliance Office was Screened and Reviewed this type of research qualifies for Exempt Review under FDA and OHRP regulation. This confirms that your application was full approved at the Institutional Review Board meeting on November 6, 2007. After the completions of the study remember fill out the form #4 "Closure Form".

This action involves:

- |  |   |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> New proposal/project                   | <input type="checkbox"/> Amendment              |
| <input type="checkbox"/> Waiver of Consents                                | <input type="checkbox"/> Adverse Events         |
| <input type="checkbox"/> Continuing Review of Previously Approved Protocol | <input type="checkbox"/> Serious Adverse Events |
| <input type="checkbox"/> Protocol Amendment                                |   |

The following documents were reviewed under this submission:

- |   |   |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Protocol                  | <input checked="" type="checkbox"/> Human Subject Certified |
| <input type="checkbox"/> Assent Document                      | <input type="checkbox"/> Investigator Brochure              |
| <input type="checkbox"/> English and Spanish Version          | <input checked="" type="checkbox"/> Authorization Letter    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Informed Consent Document | <input checked="" type="checkbox"/> Informative Sheet       |
| <input type="checkbox"/> English and Spanish Version          | <input checked="" type="checkbox"/> Curriculum Vitae        |
| <input type="checkbox"/> Letter of Amendment                  | <input checked="" type="checkbox"/> HIPAA Certified         |
| <input checked="" type="checkbox"/> Survey Instrument         | <input type="checkbox"/> FDA #1572                          |
| <input type="checkbox"/> Package Insert                       | <input checked="" type="checkbox"/> RCR Certified           |
| <input type="checkbox"/> Advertisement                        | <input type="checkbox"/> Others:                            |

You may conduct your study as submitted for a period of one year up to November 6, 2008. Contact the Office of Research Compliance (787)751-0178 ext 7218, if you have any questions or require further information.

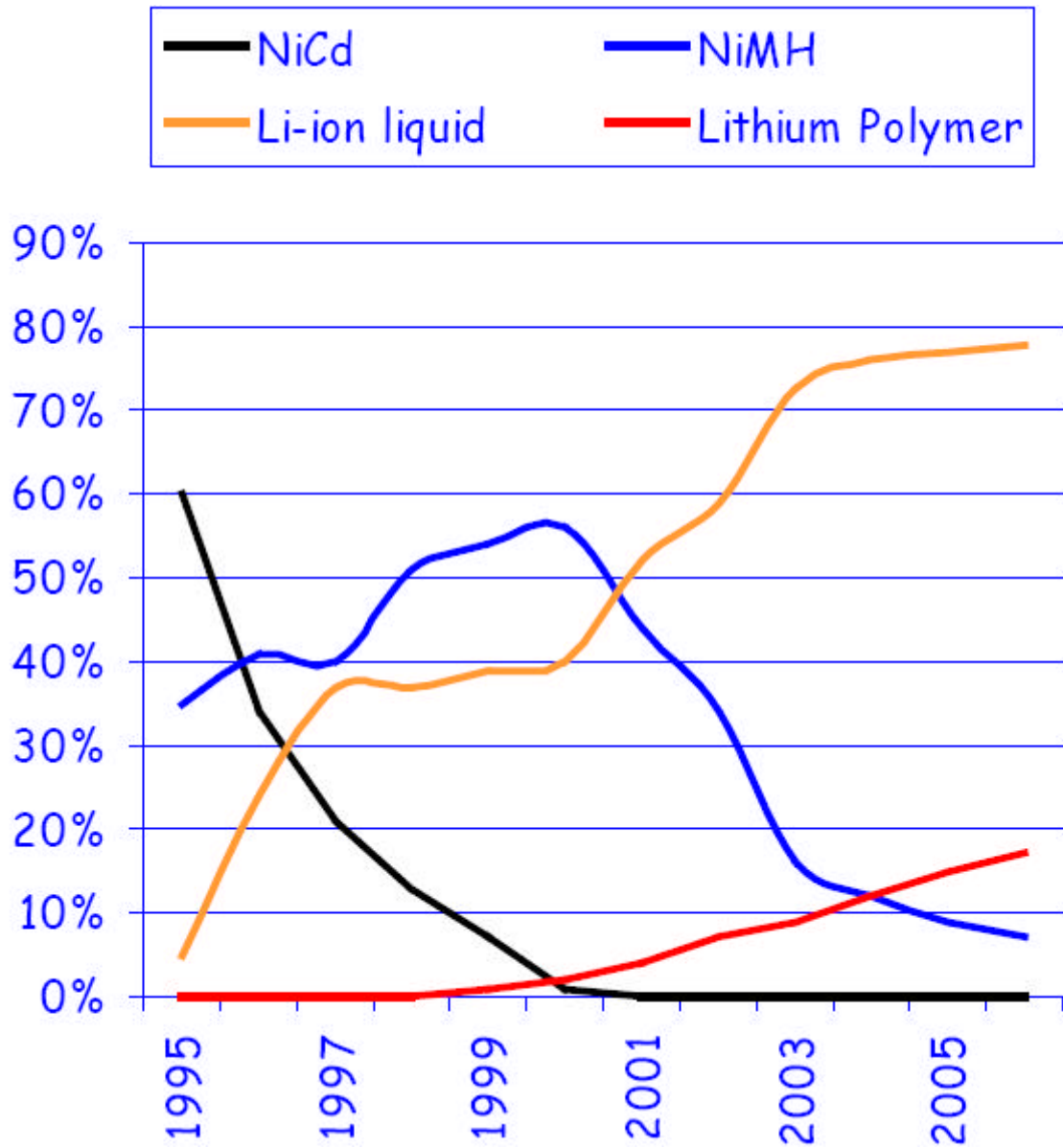
Cordially,

Rebecca Cherry, Ph.D.  
Co-chairperson IRB

## **APÉNDICES 5**

**Gráfica del Mercado de baterías (Madani, 2003)**

Mercado de baterías desde 1995 al 2006



Fuente: Madani, 2003

## **APÉNDICES 6**

### **Folleto (Objetivo 5)**

- ✓ Enseñar sobre métodos alternos a la disposición; no tan solo de las baterías de los teléfonos celulares, sino también de otros aparatos electrónicos que cuentan con este tipo de baterías.
- ✓ Establecimiento de Leyes y Programas para el reciclaje de las baterías de celulares.
- ✓ Participación e incentivo de las compañías relacionadas con estos equipos para que tomen parte fundamental en el recogido de los aparatos en desuso.
- ✓ Utilizar de ejemplo países con regulaciones para el manejo de baterías.



---

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

**DISPOSICIÓN DE LAS  
BATERÍAS DE LOS  
TELÉFONOS CELULARES EN  
LOS VERTEDEROS DE PUERTO  
RICO:  
EXTRAPOLACION DE UNA  
SUB-POBLACIÓN DEL ÁREA  
NORTE**

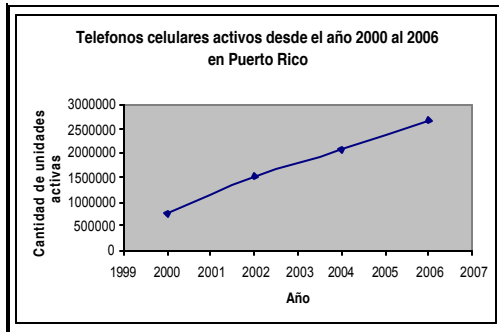


*Por: José E. Rivera Cosme  
Mayo, 2008*



### Problema:

- ✓ Según la ADS de Puerto Rico (2003), nuestro país se ha caracterizado por el problema de la disposición inadecuada de los desperdicios sólidos.
- ✓ Tenemos un crecimiento acelerado en la demanda y uso del teléfono celular.



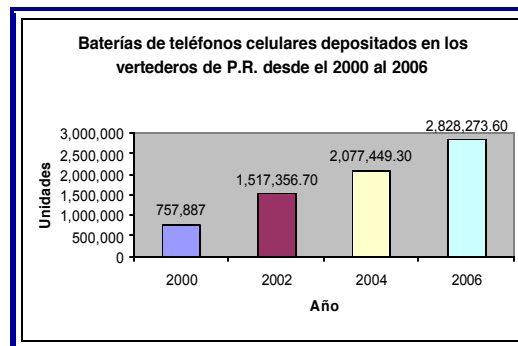
Fuente: FCC (2006) y CIA World Fact Book (2007)

- ✓ Las baterías de teléfonos celulares son:
  - Ni – Cd
  - Ni – MH
  - Li – Ion
- ✓ La mayoría de los sistemas de rellenos sanitarios incumplen con las políticas públicas
- ✓ Los teléfonos celulares utilizan baterías confeccionadas con elementos peligrosos y que representan un posible daño a la salud y al ambiente cuando no se disponen correctamente.

- ✓ Baterías de teléfonos celulares + exposición en un ambiente ácido (Vertederos) = descomposición rápida de baterías (IPMI, 2003).

### Resultados del estudio:

- ✓ El promedio de la cantidad de teléfonos celulares por hogar fue de 2.4 unidades.
- ✓ La frecuencia de cambio de unidad celular resultó ser de 1.75 años o 1 año y 9 meses.
- ✓ En Puerto Rico se estima que cerca del 64.3 % de los teléfonos en desuso permanecen guardados en alguna gaveta del hogar y el 21.3 % se depositan en la basura.
- ✓ Esto significa que un 85.6 % de los teléfonos celulares en nuestro país están entrando tarde o temprano a los sistemas de rellenos sanitarios.
- ✓ Cantidad de baterías de celulares depositadas en nuestros vertederos:



- ✓ Las personas que se entrevistaron (59.4 %) carecían de conocimientos relacionados al reciclaje de los teléfonos celulares.
- ✓ Por otro lado, un 57.5 % de los encuestados mencionó que conocían la peligrosidad de algunos de los componentes de las baterías de los teléfonos celulares.
- ✓ El 99.7 % de los encuestados mencionó que están dispuestos a reciclar su teléfono celular de contar con métodos accesibles para hacerlo.
- ✓ La disposición inadecuada de las baterías de los teléfonos celulares representan un posible riesgo a la salud y a el ambiente debido a los metales contenidos en estas como el cadmio, el cobalto, el níquel, el cinc, el manganeso, el aluminio y el litio.
- ✓ La mayoría de estos metales, si son ingeridos a través del agua podrían afectar la salud de los individuos. Algunos de ellos son catalogados por las agencias federales como carcinógenos.

### Recomendaciones:

- ✓ Establecer programas de educación a las personas sobre la peligrosidad de los metales contenidos en las baterías.