

ESTUDIO COMPOSICIONAL EN EL IPHONE 3GS

Alejandro Godoy^{1*}, Alba Graciela Avila²

1: Ingeniero Electrónico, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia

2: Física/Ingeniera Eléctrica, MSc, PhD, Cambridge University. Cambridge, Inglaterra

* Contacto: algodcas@gmail.com

RESUMEN

El reciclaje de equipos electrónicos como computadores y celulares se ha convertido en una prioridad para los gobiernos de todo el mundo. En efecto los volúmenes que se manejan hoy en día de este tipo de desechos han hecho que países como Colombia este en proceso de crear una serie de leyes y legislaciones que permitan tener un control riguroso sobre el manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Adicionalmente con la entrada en vigencia del TLC con Estados Unidos y los proyectos de este mismo tratado con países como China pone en evidencia la necesidad de una regulación rigurosa para afrontar la llegada de un volumen significativo de equipos electrónicos en especial de celulares. En este trabajo se expone a partir de diferentes técnicas de análisis: espectroscopia de energía dispersiva (EDS), espectroscopia de fluorescencia de rayos X (FRX) y espectroscopia de emisión atómica por plasma inducido (ICP-OES), los materiales presentes en un celulares de alto impacto como es el iPhone 3Gs. Las técnicas seleccionadas son útiles para identificar los materiales usados en la manufactura de los celulares. Los resultados demuestran la existencia de materiales en componentes nocivos a la salud como plomo, cromo, bromo, magnesio y cobalto. La identificación de materiales es importante en los procesos de reciclaje para evaluar el impacto ambiental y en comunidades que la presencia o manipulación de estos materiales pueda generar.

Palabras Clave: *Análisis de materiales, EDS, ICP-OES, FRX, iPhone*

ABSTRACT

Cellphones and PCs recycling (e-waste) has become a priority for most countries. In fact, e-waste volumes in countries like Colombia have encountered outstanding growth over the past few years and will show the same behavior (TLC with Asia, UE, USA). This has made Colombian government to create several laws to control not only the quantity of this type of waste but also to standardize the recycling procedure. This paper wants to show the different types of materials found in an iPhone 3Gs using EDS, FRX and ICP-OES technics so that the e-waste industry can improve their recycling procedures and make a better use of e-waste.

Keywords: *Material Analysis, EDS, ICP-OES, FRX, iPhone*

1 INTRODUCCIÓN

El reciclaje de equipos electrónicos como computadores y celulares se ha convertido en una prioridad para los gobiernos de todo el mundo. En efecto los volúmenes que se manejan hoy en día de este tipo de desechos han hecho que países como Colombia estén en proceso de crear una serie de leyes y legislaciones que permitan tener un control riguroso sobre el manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Adicionalmente con la entrada en vigencia del TLC con Estados Unidos y los proyectos de este mismo tratado con países como China ponen en evidencia la necesidad de una regulación rigurosa para afrontar la llegada de un volumen considerable de equipos electrónicos. El reciclaje de los RAEE es importante ya que este tipo de equipos contiene materiales tóxicos como plomo (Pb), azufre (S) y níquel (Ni), que puedan representar un daño ambiental significativo si son desechados en rellenos sanitarios ordinarios. Igualmente están compuestos por materiales preciosos o altamente reciclables como el oro (Au), aluminio (Al) y cobre (Cu), lo que los hace llamativos para que empresas privadas los extraigan y se comercialicen.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La basura electrónica (e-waste) se ha convertido en un problema de gran envergadura para los países desarrollados así como para los que están en vía de desarrollo. Efectivamente los volúmenes de este tipo de desechos han tenido un aumento importante en los últimos años estimándose en aproximadamente 70 millones de toneladas anuales [1]. Los computadores y los celulares son los productos de gran impacto en las sociedades actuales debido al fácil acceso y a los beneficios que tienen para los usuarios. Estos equipos se han convertido en una herramienta necesaria para las personas.

De esta manera países como Colombia, cuarto mercado más importante de Latinoamérica en el sector tecnológico [2], no están exentos del problema que se vive en el mundo entero. Se espera que para el año 2013 los desechos producidos por computadores sean de aproximadamente 80000 toneladas. Esto sin contar la basura acumulada como se muestra en la figura 1, la cual fue realizada por la iniciativa suiza para el manejo de residuos electrónicos (STEP) en conjunto con el centro de ciencia de materiales y tecnología (EMPA).

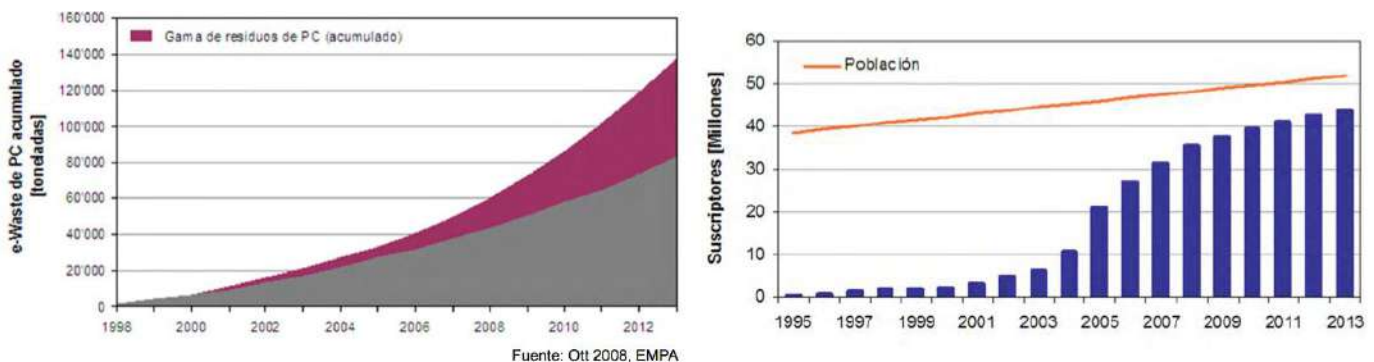


Figura 1. Volumen de residuos electrónicos generados por computadores en Colombia y suscriptores anuales a telefonía celular. [1]

Similarmente en el mercado de telefonía móvil se espera que para el año 2013 se produzcan entre 11000 a 18000 toneladas de desechos provenientes de celulares [1]. El aumento se debe principalmente al incremento en ventas tanto de computadores como de celulares en el país. De igual manera para la telefonía celular se estima que el número de suscriptores se aproxime cada vez más a la población total de Colombia. Con la reciente entrada en vigencia del TLC con Estados Unidos el mercado de la electrónica va a quedar libre de impuestos y esto se va a ver reflejado en un aumento de 8% en las exportaciones de este tipo. [3] ¿Por qué estos datos deben preocuparnos? Los residuos provocados por los equipos eléctricos y electrónicos tienen componentes tóxicos y preciosos. En estudios anteriores se ha demostrado la presencia de materiales tóxicos como plomo (Pb), azufre (S), plata (Ag) [1] [4]. En el marco ambiental y de salud, los materiales tóxicos representan un problema de gran envergadura, por un lado en el plano medio ambiental, si los residuos son desechados sin haber tenido algún tipo de tratamiento previo pueden generar una contaminación importante debido al proceso de lixiviación que se lleva a cabo en esos lugares. La lixiviación es el proceso químico por medio del cual se extraen los componentes de una muestra a partir de un líquido como el ácido acético o el ácido sulfúrico. Por otro lado en el plano de salud, los trabajadores informales que manejan este tipo de residuos están expuestos a serios problemas de salud por contaminación que se listan en la tabla 1.

Tabla 1. Efectos en la salud por elementos químicos [4] [5]

Elemento	Dosis Letal	Afectación en ser humano
Arsénico	0.1-0.5g/Kg.	Cancerígeno, daños en sistema digestivo, neurológico
Aluminio	10mg/m ³	Neumoconiosis.
Magnesio	10mg/m ³	Óxido de magnesio: Malestar general, fiebre, problemas respiratorios.
Azufre	Vapores	Vapores producidos al quemarse afectan sistema respiratorio y digestivo
Bario	Compuestos	Exposición a Carbonato, cloruro o hidróxido de bario: Daños en piel, sistema respiratorio
Fósforo	0.1mg/m ³	Problemas respiratorios, fosfocrosis
Cobalto	20mg/m ³	Fibrosis pulmonar, asma bronquial, dermatitis de contacto, cardiomiopatía
Cadmio	200ug/m ³	Alteraciones gastrointestinales, neumonitis química
Cobre	0.2mg/m ³	Alteraciones hepáticas y renales.
Flúor	2.0mg/m ³	Problemas óseos, fertilidad, irritación piel.
Estaño	Vapores	Humos producidos al quemarse afecta sistema respiratorio
Mercurio	0.05mg/m ³	Cancerígeno, daños en sistema digestivo, neurológico
Níquel	1mg/m ³	Dermatitis de contacto, asma, cáncer de pulmón y de senos para nasales
Plomo	0.15mg/m ³	Alteraciones gastrointestinales, neurológicas, renales y hematológicas
Silicio	Partículas	Exposición prolongada: Silicosis, enfermedades pulmonares, cáncer pulmón.
Plata	0.01mg/m ³	Argiria, alergias, problemas respiratorios.

2.1 Marco Legal Colombiano

La mayoría de las figuras legales que se han establecido proponen una disposición integral de los residuos eléctricos y electrónicos en el país pero no se han establecido leyes concretas que permitan tener un control riguroso en el tema. Adicionalmente se han establecido iniciativas para la creación de centros de recolección de residuos eléctricos y electrónicos pero la realidad muestra que estos proyectos no reciben mucha atención por parte del gobierno y los ciudadanos reciben poca información para reciclar sus dispositivos.

2.2 Iniciativas Gubernamentales y Privadas

El gobierno ha implementado una iniciativa llamada Computadores para Educar [6] que establece un centro de recolección de computadores donados por empresas privadas e instituciones educativas. Estos equipos son revisados y acondicionados para llevarlos a escuelas de bajos recursos por todo el país con la voluntad de fomentar el acceso a la tecnología en todo el país. Sin embargo los computadores que son llevados a distintas partes de Colombia son equipos que ya tienen una vida útil reducida y su desempeño no es bueno. Además cuando presentan problemas, los equipos se desechan como cualquier residuo ordinario ya que las políticas de reciclaje no se han establecido a lo largo del país.

En el marco privado se han creado diferentes empresas que se dedican desde la recolección de equipos electrónicos hasta el tratamiento integral: UMICORE, Belmont Trading, Gaia Vitare, C.I. Reciclables entre otras. Estas organizaciones tienen como principal objetivo la recolección de equipos electrónicos para realizarles la extracción de materiales preciosos o separarlos por partes para su exportación a las plantas de tratamiento. En reuniones realizadas por el EMPA en abril de 2011, las empresas discutieron la falta de reglamentación y protocolos para el tratamiento de materiales tóxicos que quedan luego de la extracción de aquellos con alto valor económico.

3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Siguiendo los estándares para el análisis composicional definidos por organizaciones internacionales como el EPA (U.S. Environmental Protection Agency) y AEMA (Agencia Europea del Medio ambiente), se han escogido tres de las técnicas más usadas y disponibles en el centro de investigación, para el proyecto se van a utilizar tres métodos de análisis, espectroscopia de energía dispersiva (EDS), espectroscopia de fluorescencia de rayos X (FRX) y espectroscopia de emisión atómica por plasma inducido (ICP-OES), técnica certificada para el análisis composicional de desechos tóxicos. Las técnicas y características de análisis usadas son mostradas en la tabla 2.

Tabla 2. Técnicas y características de análisis utilizadas.

	EDS	FRX	ICP-OES
Resolución	3.0nm (Alto vacío) / 4nm (Bajo vacío)	500um	Mide longitud de onda desde 166 hasta 847 nm
Preparación de muestras	Desmantelar los equipos - Separar partes - Identificar partes - Cortar partes	Desmantelar los equipos - Separar partes - Identificar partes - Cortar partes	Desmantelar equipo - Cortar piezas en tamaño máximo de 1 cm ² - Preparación fluido TCLP - Medición de fluido
Características	No destructivo	No destructivo	Destructivo
Duración	1 hora	1 hora /muestra	15 días.
Rango de materiales	Be hasta Am	Desde Na hasta U	As, Ba, Hg, Cd, Cr, Ag, Pb, Se

Para las tres técnicas fue necesario seguir el diagrama de flujo mostrado en la figura 2 para obtener las muestras:

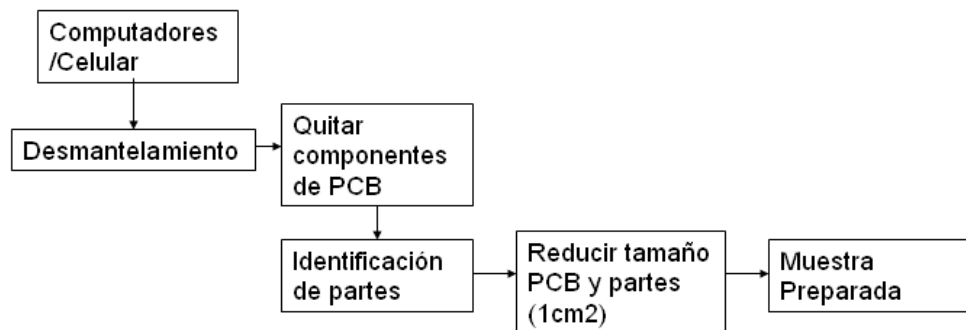


Figura 2. Diagrama de flujo para la preparación de muestras.


4 RESULTADOS

4.1 Resultados SEM – EDS y TCLP ICP – OES.

Para el iPhone se listan los elementos encontrados en la tabla 3 indicando la peligrosidad de cada uno para los casos que sobrepasan los límites permitidos presentados anteriormente.

Las partes del celular escogidos surgieron a partir del análisis composicional previo realizado por GreenPeace sobre el modelo anterior del iPhone [7] donde especifican las partes con más contaminación y perjudiciales para el ser humano.

Tabla 3. Materiales encontrados en muestras por SEM-EDS y TCLP ICP – OES (Rojo: Peligrosidad Alta, Naranja: Peligrosidad Media.)

Elemento	Pantalla	Antena	PCB	Conector Cámara	Conector Antena	Soldadura Batería	Protector Batería	
Bario (Ba)			X					
Cobalto (Co)					X			
Plata (Ag)						X		
Aluminio (Al)	X	X	X		X		X	
Silicio (Si)	X		X	X				
Cobre (Cu)		X			X			
Estaño (Sn)			X			X		
Magnesio (Mg)				X				
Níquel (Ni)				X	X			
Oro (Au)				X	X			
Flúor (F)							X	

La variedad de materiales encontrados en el equipo celular no están regulados por organismos internacionales pero representan un peligro para el ser humano que interactúe con estos. Esta interacción sucede sobre todo en los recicladores informales que no tienen las herramientas de seguridad adecuadas para el tratamiento de estos materiales. Efectivamente se comprobó que los PCB's son incinerados para eliminar los recubrimientos que están elaborados en plásticos bromados y contienen los materiales encontrados en la tabla anterior.

4.2 Resultado de la prueba FRX

En el caso del FRX se encontró una concordancia para ciertos elementos sobre las muestras. En la tabla 4 se ilustran los materiales hallados en cada técnica y su porcentaje respectivo.

Tabla 4. Comparación entre técnicas SEM – EDS y FRX

Parte de iPhone: Protector Pila	SEM -EDS		FRX	
	Elemento	Porcentaje en peso (%)	Porcentaje en peso (%)	% en el equipo
	Oxígeno (O)	27.37	N/A	N/A
	Flúor (F)	16.3	N/A	N/A
	Aluminio (Al)	2.02	723.386	0.2304118
	Fósforo (P)	0.84	N/A	N/A
	Cobalto (Co)	38.72	N/A	N/A
	Hierro (Fe)	N/A	107.198	0.0341445
	Silicio (Si)	N/A	169.416	0.0539621

Comparado al estudio de Greenpeace [7] para la primera generación de iPhone (2G), en estas dos muestras no se encuentra presencia de material tóxico regulado por RoHS, para el primero se encontraron cantidades importantes de bromo en el PCB y de cromo en el protector de la pila usando esta misma técnica.

5 DISCUSIÓN

Los métodos de análisis son una herramienta eficaz para poner en evidencia los materiales tanto tóxicos como preciosos presentes en los equipos electrónicos.

En el mundo se reciclan apenas 5% de los equipos electrónicos del mercado por lo que el resto termina en los rellenos sanitarios produciendo así un daño ambiental importante que se traduce en consecuencias negativas a largo plazo. El resultado obtenido de la técnica ICP-OES simula las condiciones de un relleno evidenciando el impacto latente sobre el medio ambiente.

Las tres técnicas utilizadas resultan efectivas para caracterizar los diferentes materiales presentes en el iPhone 3Gs. Los resultados del EDS - SEM evidencian la existencia de componentes dañinos pero dado que el análisis que realiza es sobre una superficie muy reducida de la muestra, la caracterización no es completa. Por eso las pruebas del FRX e ICP-OES corroboran los resultados del SEM dando un análisis más detallado de los materiales existentes en las muestras.

Sin embargo, así como se hallaron elementos nocivos, estos equipos también disponen en cantidades pequeñas elementos altamente reciclables y valiosos como Aluminio (Al), Oro (Au), Cobre (Cu). Esta es la razón y la fuente de financiación de las empresas dedicadas al reciclaje de estos elementos como UMICORE y Gaia Vitare.

6 CONCLUSIONES

En materia de elementos preciosos se puede ver la razón de las iniciativas privadas y el alto interés por manejar este tipo de residuos. Sin embargo hay que tener en cuenta los factores costo beneficio para la integridad de equipos electrónicos para ver si es rentable este tipo de negocios.

En el marco legal, Colombia está atrasada en cuanto a leyes sobre el tema de RAEE. Si bien en 2010 se lograron la firma de una serie de acuerdos y resoluciones faltan leyes que pongan un control riguroso y políticas concretas para el tratamiento integral de los RAEE sobre todo teniendo en cuenta la entrada en vigencia de tratados de libre comercio con Estados Unidos y Canadá.

La presencia de material tóxico es inminente en los equipos electrónicos; las regulaciones solo restringen el uso de una porción dejando en evidencia el peligro para el medio ambiente y las personas a la contaminación por elementos tóxicos.

La RoHS solo cubre seis tipos de materiales tóxicos. Las pruebas realizadas dejan en evidencia la existencia de más tóxicos que representan un daño especial sobre la salud de los recicladores informales.

La existencia de material reciclable deja claro que pueden ser usados en diferentes tipos de proyectos con el fin de evitar el uso de elementos puros y costosos.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernández C. A. “La Gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos”, Taller de Capacitación para Autoridades Ambientales, Bogotá, 11 – 12 de Octubre de 2010.
2. Servicio de Asesoría para el Clima de Inversiones del Grupo Banco Mundial, “Doing business in Colombia”, [Archivo PDF], 2010, <http://espanol.doingbusiness.org/~media/FDKM/Doing%20Business/Documents/Subnational-Reports/DB10-Sub-Colombia-Spanish.pdf>
3. U.S. International trade commission, “U.S – Colombia Trade Promotion Agreement: Potential Economy – wide and selected sectoral effects”, [Archivo PDF], 2006, <http://www.usitc.gov/publications/332/pub3896.pdf>
4. Goosey M, Stevens G. C. “Materials Used in Manufacturing Electrical and Electronic Products”. Electronic Waste Management, Design, Analysis and Application. RSC Publishing. 2009.
5. U.S. Department of Health and Human Services, “Report on Carcinogens”, 12ed, USA, 2011
6. Castellanos M. “Computadores para Educar”, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, República de Colombia, 2011.
7. Greenpeace research laboratories, “Missed Call: iPhone’s Hazardous Chemicals”, Amsterdam, 2007.