

Material informático y contaminación medioambiental



Alejandro Castán Salinas

acastan@xtec.net

Material informático y contaminación medioambiental

revisión 2.4 - 15/4/2008

Copyright © Alejandro Castán Salinas

Se otorga el permiso para copiar, distribuir y/o modificar este documento bajo las condiciones de la licencia *Creative Commons* de Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual¹, versión 3.0 o posterior. Puedes consultar dicha licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.es>.

El contenido de este documento puede cambiar debido a ampliaciones y correcciones enviadas por los lectores. Encontrarás siempre la última versión del documento en mi página web <http://www.xtec.net/~acastan/>.

Este documento ha sido elaborado utilizando herramientas de software libre. Me gustaría dar las gracias a toda la gente que dedica parte de su tiempo y talento a programar dichas herramientas. Me gustaría dar las gracias también a las personas que entregan algo de manera altruista, a quienes comparten.

¹ Reconocimiento: debe reconocer y citar al autor original.
NoComercial: no puede utilizar esta obra para fines comerciales.
CompartirIgual: si altera o transforma esta obra, o genera una obra derivada, sólo puede distribuir la obra generada bajo una licencia idéntica a ésta.

Introducción

Si pensamos en el título de este documento, “Material informático y contaminación medioambiental”, seguramente lo primero que nos viene a la cabeza son diversos usos del ordenador que comportan un “ahorro ecológico”: almacenar documentos en discos duros y CDs en lugar de utilizar quilos y quilos de papel, almacenar imágenes de cámaras digitales sin pasar por el antiguo proceso de revelado en papel fotográfico, leer las noticias en Internet en lugar de utilizar el formato impreso de los diarios², etc. Pero el lado oscuro de la alta tecnología nos muestra contaminación del agua potable, vertido de desechos que matan los peces y la vida salvaje, defectos de nacimiento, y altos índices de abortos y cáncer entre los trabajadores.

Desde que en la década de los 90 el precio de los ordenadores cayó en picado, quien más quien menos dispone de algún ordenador en casa y en el trabajo. Aunque la vida útil de estos equipos se estima en unos diez años, al cabo de unos tres o cuatro años ya han quedado obsoletos debido a los requerimientos de los nuevos programas y las nuevas versiones de los sistemas operativos.

Personalmente, no deja de asombrarme ver comprar equipos realmente potentes para acabar utilizando un procesador de textos y un navegador de Internet, cosa que ya se hacía perfectamente con ordenadores diez años más antiguos. Mi experiencia personal reparando ordenadores es que casi toda la gente que se queja de que su ordenador quedó “pequeño” u obsoleto pueden subsanar el problema bien sea desinstalando los programas que no utilizan, bien sea no instalando nuevas versiones de programas (que normalmente necesitan más memoria y velocidad de proceso) si éstas no les aportan nada nuevo, bien sea con una pequeña ampliación de memoria.

Lo cierto es que adquirir un nuevo equipo informático es tan barato que ya abandonamos o almacenamos un ordenador cuando éste todavía no ha llegado al final de su vida útil, para comprar otro más nuevo, desconociendo el enorme coste ecológico que comporta tanto la producción como el vertido de ordenadores.

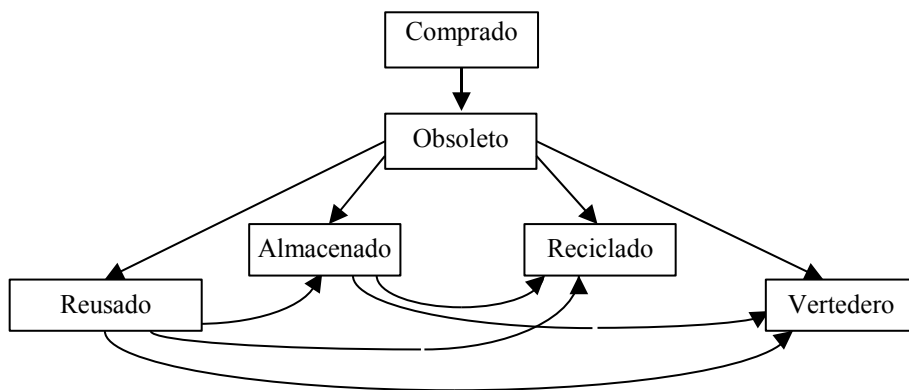


Ilustración 1: Ciclo de vida de un ordenador. Una vez queda obsoleto, aún lejos de llegar al final de su vida útil, el equipo puede ser reusado (bien por donación a alguna ONG, bien por venta en el mercado informático de segunda mano) o almacenado antes de abandonarse en un vertedero o en un punto de reciclaje especializado.

Existe muy poca información en el mundo acerca de la contaminación y problemas medioambientales producidos por el material informático, ya sea en su proceso de producción, uso diario, y gestión de los residuos cuando dicho material llega al final de su vida útil. Yo tan sólo he

² Según un artículo reciente, comparado con leer un periódico, recibir las noticias en un PDA wireless utiliza de 26 a 67 veces menos agua, de 32 a 140 veces menos CO₂, y varios ordenes de magnitud menos NO_x, y SO_x [MIC].

encontrado un libro en todo el mundo³, muy pocos estudios (la mayoría basados en datos confidenciales que no permiten contrastar los resultados), y datos públicos tan solo a escala local de algunos países.

Este informe tan solo pretende ser una breve recopilación de datos y consejos para llamar la atención sobre un tema tan desconocido como preocupante. En las siguientes líneas hablaremos de:

- El impacto ambiental de la producción de ordenadores.
- El consumo eléctrico en la fase de uso.
- El impacto ambiental de almacenar ordenadores en vertederos.
- Cómo el diseño de PCs “verdes”, las políticas de gestión de residuos respetuosas con el medio ambiente, la reventa, la actualización y el reciclado de ordenadores, pueden reducir dicho impacto.

Estoy seguro de que en los próximos años comenzarán a aparecer estudios sobre el efecto de las sustancias químicas del proceso de producción sobre los trabajadores y los ecosistemas locales, estudios sobre el impacto ambiental de los desechos informáticos, estudios sobre las actitudes de los usuarios, etc. Hasta entonces los únicos lugares que he encontrado donde podéis ampliar información sobre el tema son:

- la página web de *IT and Environment Initiative*, <http://www.it-environment.org/>,
- la página web de *Silicon Valley Toxics Coalition*, <http://svtc.etoixics.org/>,
- la página web de *Electronic Waste Guide*, <http://www.e-waste.ch/>,
- y una página que contiene notas de prensa y estudios con predicciones en el ámbito tecnológico, <http://www.etforecasts.com/products/>.

3 “Computers and the Environment: Understanding and Managing their Impacts”, Ruediger Kuehr & Enric Williams, Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-1679-4 y 1-4020-1680-8.

El proceso de producción

Algunos datos:

- Para producir un chip de memoria (32 Mbytes DRAM) de 2 gramos se utilizan 1600 gramos de combustible fósil, 72 gramos de químicos y 32 litros de agua [ERI1].
- Para producir un PC de escritorio con su correspondiente monitor CRT se utilizan 290 kg de combustible fósil, 22 kg de químicos y 1500 litros de agua [ERI2].
- De toda la electricidad que consume un ordenador a lo largo de su vida (considerando tres años de uso), el 83% se utilizó en el proceso de producción, y el 17% restante es la electricidad que consume en su uso diario [ERI2].
- El consumo de electricidad de una planta fabricante de chips representa alrededor del 40% de los costos de producción, sobretodo debido a los ventiladores, bombas de aire y aspiradores necesarios en las salas limpias, por lo que podrían conseguir un gran margen de ahorro en los costos si aplicaran técnicas de eficiencia energética [OPC].
- Una planta fabricante de chips consume 7 millones de litros de agua cada día [OPC].

(Los siguientes ocho párrafos los he extraído y traducido libremente de [OPC].)

Existen tres problemas medioambientales relacionados con la fabricación de ordenadores: el uso de muchas sustancias tóxicas en el proceso de producción, un consumo muy elevado de agua y energía, y el gran volumen de residuos (también tóxicos) que generan.

Los materiales más abundantes en un ordenador son plásticos, acero, silicio, aluminio y cobre. Pero en la fabricación de los chips y las placas se utilizan hasta un millar de sustancias químicas, algunas de ellas muy contaminantes y conocidos cancerígenos.

Una de las sustancias problemáticas son los retardantes de llama con que la ley obliga a cubrir los circuitos impresos, los cables y las carcasas para hacerlos poco inflamables. Los usados más habitualmente son halogenados: contienen bromo o flúor, lo que causa que durante la fabricación, el vertido o la incineración de los ordenadores se liberen dioxinas y otros contaminantes en el medio. Pero también se liberan al aire mientras los ordenadores se usan: algunos estudios han detectado una concentración de bromo en la sangre más elevada que la media entre la gente que trabaja en oficinas. Estas sustancias causan sobretodo desorden en el sistema hormonal (glándula tiroidea), pero posiblemente también cáncer y desordenes en el desarrollo neuronal. Se acumulan en los tejidos grasos (y por lo tanto, también en la leche materna) y se mueven hacia arriba en la cadena alimentaria.⁴

También se utilizan metales pesados, sobretodo plomo, cadmio y mercurio. El plomo se utiliza para soldar los chips a las placas, y en las pantallas de rayos catódicos (las que no son planas) para absorber una parte de las radiaciones electromagnéticas que generan las pantallas. El cadmio y el mercurio también se utilizan en dichas pantallas. Durante el uso de los ordenadores no estamos expuestos a dichos elementos, pero se convierten en un peligro cuando se liberan al medio durante la fabricación y al lanzar el ordenador. Pasan a los seres vivos a través de la cadena alimentaria y, como no los podemos metabolizar, se acumulan en los tejidos y son una causa de cáncer.

Durante la fabricación de los chips se emiten al aire perfluorocarbonos (PFCs), que son gases que

4 Se puede encontrar más información sobre los efectos en la salud de dichos retardantes de llama en <http://archive.greenpeace.org/toxics/hfr.html> y en http://svtc.etoixics.org/site/PageServer?pagename=svtc_bfrs_in_electronics.

permanecen durante mucho tiempo en la atmósfera y contribuyen al efecto invernadero. Forman parte de los productos cuya emisión se acordó reducir en el Protocolo de Kyoto para frenar el cambio climático.

Otras sustancias tóxicas que utilizan los ordenadores son arsénico, benceno, tolueno y cromo hexavalente. Las carcasas se suelen proteger con pinturas que contienen disolventes orgánicos; durante la aplicación se liberan compuestos orgánicos volátiles, que provocan que se acumule ozono en las capas bajas de la atmósfera. El ozono al nivel del suelo causa problemas respiratorios y dificulta el crecimiento normal de los vegetales. Por otro lado, los cables suelen ser de PVC.

Los procesos más sencillos, como el montaje de placas y ordenadores, los suelen hacer empresas subcontratadas en Malasia, Tailandia, Filipinas, Vietnam, Indonesia, China, recientemente Europa del Este, y en menor cantidad Centroamérica, Brasil y Sudáfrica. En las plantas de montaje suelen trabajar mujeres jóvenes cobrando salarios bajos, con jornadas muy largas, presión por producir deprisa, y sin sindicatos. A diferencia de lo que pasa en el sector de los juguetes o del textil, las grandes empresas de material electrónico todavía no han comenzado a elaborar códigos de conducta que establezcan unas condiciones laborales mínimas en sus fábricas y empresas proveedoras.

Las empresas son reticentes a colaborar en estudios de las sustancias tóxicas sobre la salud. Parece claro que hay una tasa de abortos y malformaciones en bebés más alta de lo normal entre las mujeres que trabajan en salas blancas (los trajes especiales que usan evitan la exposición de las obleas de chips a las impurezas que puedan portar los trabajadores, pero no evitan la exposición de los trabajadores a los tóxicos). Durante la década de los 90, en EEUU y Escocia se ha demandado a algunas empresas porque la frecuencia de cáncer de cerebro entre los trabajadores de salas limpias es 2'5 veces más alta que la media, pero los casos todavía están pendientes por falta de evidencias concluyentes. En las plantas de montaje de placas, el peligro más grande es el plomo que se utiliza para soldar. A principios de los 90 murieron cuatro trabajadores en Tailandia: la autopsia les detectó un nivel de plomo en la sangre más alto de lo normal. El resultado fue negado por la empresa donde trabajaban y silenciado por el gobierno, el principal interés del cual es atraer inversores extranjeros.

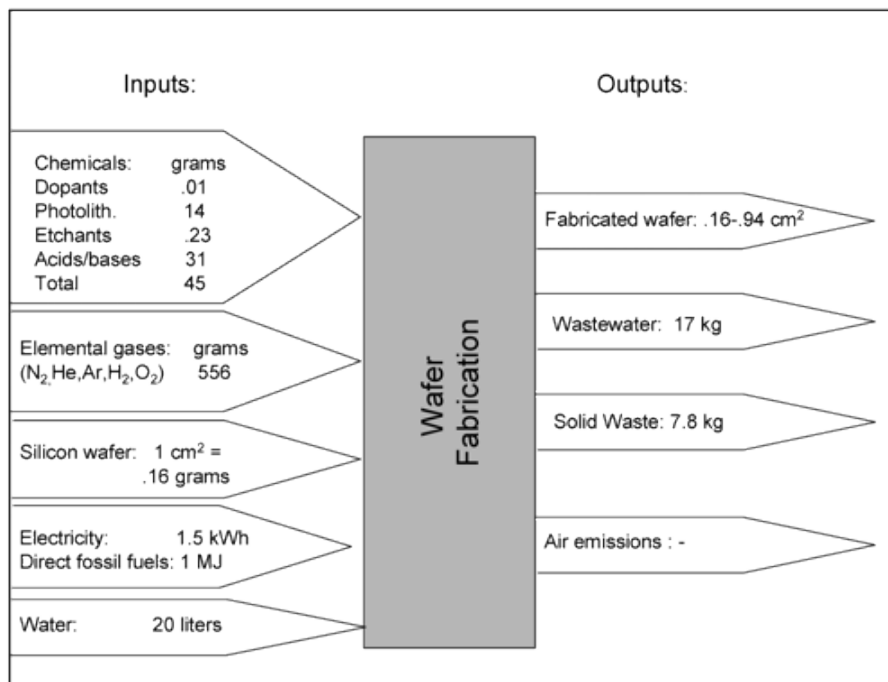


Ilustración 2: Material y energías necesarios para fabricar 1 cm² (0'16 gramos) de microcircuitos sobre una oblea de silicio. Sería el equivalente, por ejemplo, de un chip de memoria DRAM de 20 Mbytes [ERI3].

Un informe más detallado sobre el proceso de producción y las sustancias químicas que se liberan en dicho proceso lo encontrareis en <http://www.epa.gov/Compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/electronics.html>.

El consumo en el uso diario

Algunos datos:

- El año 2000, en EEUU los equipos de oficina y telecomunicaciones ya consumían el 3% de la electricidad nacional. Los ordenadores representan el 43% de dicho consumo [???].
- Un PC de escritorio típico (pentium IV) con su monitor (17 pulgadas) usa aproximadamente unos 118 vatios de potencia en modo activo [ERI2].
- Se calcula que tan solo el 25% de los ordenadores tiene correctamente configurado el modo de bajo consumo [???].
- Una pantalla de cristal líquido consume entre un 60% y un 70% menos que una pantalla de tubo de rayos catódicos. Los portátiles también son mucho más eficientes energéticamente que los PC de escritorio convencionales [???].

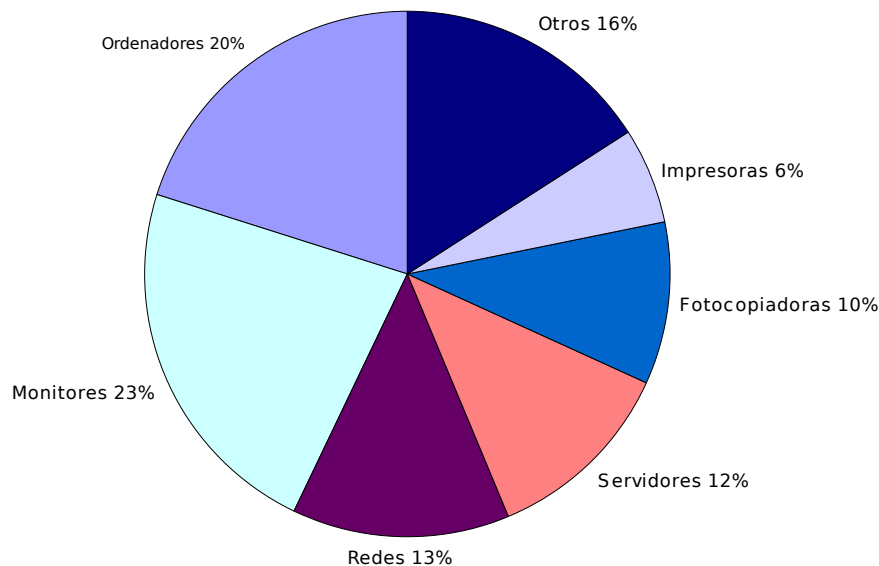


Ilustración 3: Porcentaje de consumo de energía en equipos de oficina y telecomunicaciones [ROT].

El consumo eléctrico en fase de uso es bastante fácil de estimar calculando el tiempo de vida del ordenador, las horas de uso en los diferentes modos de consumo, y la energía que se consume en cada modo.

Existen bastantes datos sobre el consumo de los equipos de informática, tanto en modo “normal” como en modo “suspendido”, pero no he tenido tiempo de incorporarlos a este informe. Los iré añadiendo con el tiempo. Si los queréis consultar, el mejor lugar para comenzar es <http://virtual.pnw.com/surveyor/research.asp>, pero también están bastante bien <http://enduse.lbl.gov/Projects/OffEqpt.html> y <http://eetd.lbl.gov/BEA/SF>.

El mayor ahorro en el consumo se puede producir al cambiar la fuente de alimentación del ordenador por una fuente de alta eficiencia energética. Toda fuente de alimentación consume más energía que la que realmente proporciona, disipando la diferencia en forma de calor. Por ejemplo, supongamos un ordenador cuyos componentes internos consumen 150W para funcionar, que está funcionando 4 horas al día, y que el precio del kilovatio/hora es de 0.1 euros. Si dicho ordenador tiene una fuente de calidad normal/baja de 60% de eficiencia, gastará:

150W , 60% eficiencia $\Rightarrow 250.0W * 4horas * 365días * 0.1euros / 1000 = 36.5$ euros/año

Si cambiamos la fuente de alimentación por una de 80% de eficiencia, ahora gastará:

150W , 80% eficiencia $\Rightarrow 187.5W * 4horas * 365días * 0.1euros / 1000 = 27.4$ euros/año

Después de este cambio, el calor disipado también es mucho menor ($187.5W - 150W = 37.5W$), por lo que la fuente de alimentación necesitará un ventilador menos potente y el PC será más silencioso. Una lista de fuentes de alimentación de alta eficiencia la encontrareis en la página http://80plus.org/manu/psu_80plus/psu_join.php.

Si sois personas interesadas en montar PCs de bajo consumo, entonces quizás os interese el consumo individual de cada componente. En ese caso os recomiendo el artículo que encontraréis en <http://arstechnica.com/guides/buyer/guide-200802-green.ars>, así como algunos artículos de <http://www.silentpcreview.com/>.

Tabla 1: Consumo de los componentes de un ordenador personal.

Componente	Inactivo	Activo
CPU Intel Core Duo T2600 (socket 479)	2.2W (800Mhz)	19.5W (2.16Ghz)
CPU AMD A64 3000+ (socket 939)	4.1W (1.0Ghz)	20.5W (1.8Ghz)
CPU AMD A64 4000+ (socket 939)	5.6W (1.0Ghz)	34.3W (2.4Ghz)
CPU AMD A64 X2 3800+ (socket 939)	8.8W (1.0Ghz)	41.4W (2.0Ghz)
CPU AMD A64 X2 4800+ (socket 939)	9.8W (1.0Ghz)	61.9W (2.4Ghz)
CPU Intel P4 630 (socket 775)	20.7W (2.8Ghz)	77.7W (3.0Ghz)
CPU Intel P-D 820 (socket 775)	26.7W (2.8Ghz)	90.5W (2.8Ghz)
CPU Intel P-D 930 (socket 775)	6.4 / 31W (2.4~3.4Ghz)	93.6W (3.0Ghz)
CPU Intel P-D 950 (socket 775)	7.8 / 32W (2.4~3.0Ghz)	105.1W (3.4Ghz)
CPU Intel P4 670 (socket 775)	33.6W (3.8Ghz)	127.7W (3.8Ghz)
Memoria DDR 1Gb 400Mhz		3.3W más que inactivo
Memoria DDR2 1Gb 533Mhz	2W	4.5W más que inactivo
Memoria DDR3 1Gb		10W más que DDR2
Tarjeta de vídeo		de 10W a 35W
Tarjeta de red	1.5W	de 2W a 2.5W
Pantalla CRT 21"		120W
Pantalla LCD 22"		60W
Disco duro normal (3.5")	de 4W a 8W	de 8W a 18W
Disco duro de portátil (2.5")	1W	3W
Disco duro de estado sólido	~0W	~0W
Disco óptico (CDROM, DVD)	1W	leyendo, de 5W a 15W escribiendo, 25W

La basura informática

Algunos datos:

- Actualmente se venden 130.000.000 de ordenadores al año en el mundo. Hasta abril del año 2002 se han vendido mil millones de PCs, desde que IBM puso en el mercado el primer PC el 1981. Se calcula que en los 5 años comprendidos entre 2.002 y 2.007 se fabricarán tantos ordenadores como en los 25 años previos. Así, el ordenador personal 2.000 millones se fabricará en el año 2.007 [???].
- El sector dedicado a la fabricación de aparatos electrónicos crece rápidamente y constantemente lanza nuevos productos, que mejoran los introducidos en el mercado unos meses antes. El tiempo de vida de los ordenadores personales se está encogiendo considerablemente: mientras que el 1997 se cifraba alrededor de 5 años, se estima que en el 2005 será de tan sólo 2 años [???].
- La producción de los residuos electrónicos crece tres veces más rápido que la media de los residuos urbanos. Concretamente, el volumen de chatarra informática crece entre un 16% y un 28% cada cinco años [OPC].
- El 90% de los equipos informáticos viejos acaban en los vertederos, después de haber sido lanzados a un contenedor o abandonados en la calle, o se depositan en chatarrerías [OPC].
- Se calcula que el 2005 se lanzarán en EEUU 140.000.000 ordenadores. Actualmente, los PCs obsoletos en EEUU ocupan 5'7 millones de m³ (el equivalente de un campo de fútbol de 1'5 km de altura) [???].
- En el 2005 la basura electrónica ya representa casi el 5% de todos los residuos generados por la Unión Europea. En España generamos cada año 200.000 toneladas de basura electrónica. Sólo reciclar los ordenadores que se amontonan hoy en los vertederos europeos llevaría unos 10 años [MUN].
- Un estudio entre los trabajadores que desmontan ordenadores en Suecia les ha encontrado una concentración de bromo en la sangre 65 veces más grande de lo normal [OPC].
- Un programa piloto de recogida de basura electrónica en California estimó que es 10 veces más barato enviar en barco monitores CRT a China que reciclarlos en los EEUU [SVTC].

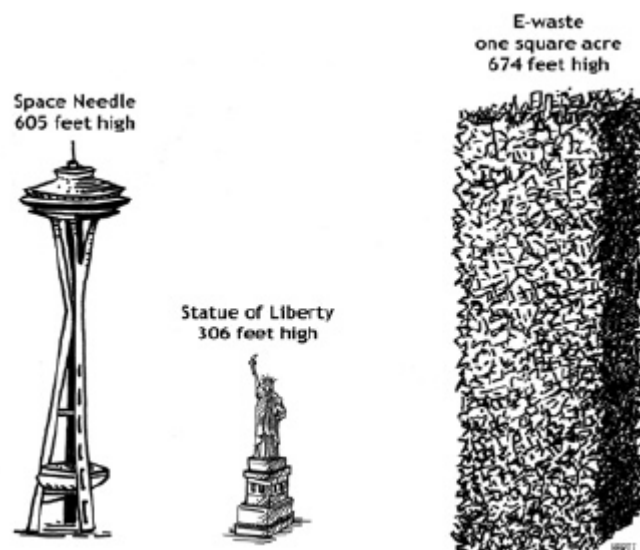


Ilustración 4: Cantidad estimada de basura electrónica que se exportará a Asia el año 2002 [BAN].

Los aparatos electrónicos están constituidos por un conjunto de componentes de entre los cuales conviene destacar: aparatos de visualización como tubos de rayos catódicos y pantallas de cristal líquido, vidrio, plásticos con materiales ignífugos, circuitos impresos, cables, interruptores de mercurio y magnetotérmicos, pilas, condensadores, resistencias, relés, etc. Aproximadamente el 50% del peso de aparatos electrónicos y eléctricos son metales, principalmente aceros, aluminio, cobre, plomo, mercurio y metales preciosos. El resto de materiales quedan repartidos entre dos fracciones que se encuentran en porcentajes similares y que son plásticos y vidrios. Dependiendo del aparato considerado, estos datos pueden variar. Así, mientras los ordenadores contienen un 23% de peso en plásticos, en los equipos dedicados a telecomunicaciones puede llegar hasta un 50%.

El monitor CRT posee el 50% del volumen y la masa del ordenador, y contiene plomo (cientos de gramos en el tubo de rayos catódicos), fósforo, cadmio y mercurio tóxicos.

Los compuestos más problemáticos desde el punto de vista medioambiental contenidos en los residuos eléctricos y electrónicos son los metales pesados, el PVC, los materiales ignífugos bromados y los compuestos binéfilos policlorados (PCB). Hablando de metales, que poseen el 70% del valor residual de un ordenador, podemos encontrar plomo en las soldaduras y los tubos de rayos catódicos, bario en los tubos de rayos catódicos, cadmio en las baterías, antimonio en el encapsulado de los chips, berilio en los PCs antiguos y las conexiones de teléfonos móviles, cromo en los metalizados, mercurio en baterías, interruptores y las bombillas que iluminan las pantallas planas, fósforo en monitores, arsénico y silicio en los microprocesadores, acero en las carcasas, aluminio en los discos duros, cobre en toda la electrónica, y metales preciosos en las placas de circuitería.

Además de las sustancias presentes dentro del ordenador, también encontramos numerosas sustancias en sus diferentes complementos, de las que faltan datos o estudios sobre su toxicidad. Por ejemplo: el tóner de las impresoras láser y fotocopiadoras contiene polvo de carbón, que es un probable cancerígeno; los cdrom contienen aluminio; los cd grabables (cd-r) contienen pigmentos cianina, phthalocianina o meta-azo; los cds regrabables (cd-rw) contienen policristal (plata-indio-antimonio-telurio); los minidisk contienen cobalto; etc.

Tabla 2: Composición de un ordenador personal típico [HAN].

Nombre	Contenido (% peso total)	Eficiencia reciclaje	Uso / Localización
plásticos	22,9907	20,00%	includes organics, oxides other than silica
plomo	6,2988	5,00%	metal joining, radiation shield/CRT, PWB
aluminio	14,1723	80,00%	structural, conductivity/housing, CRT, PWB, connectors
germanio	0,0016	0,00%	semiconductor/PWB
galio	0,0013	0,00%	semiconductor/PWB
hierro	20,4712	80,00%	structural, magnetivity/(steel) housing,CRT, PWB
estaño	1,0078	70,00%	metal joining/PWB, CRT
cobre	6,9287	90,00%	conductivity/CRT, PWB, connectors
bario	0,0315	0,00%	getter in vacuum tube/CRT
níquel	0,8503	80,00%	structural, magnetivity/(steel) housing,CRT, PWB
cinc	2,2046	60,00%	battery, phosphor emitter/PWB, CRT
tántalo	0,0157	0,00%	capacitors/PWB, power supply
indio	0,0016	60,00%	transistor, rectifiers/PWB
vanadio	0,0002	0,00%	red phosphor emitter/CRT
terbio	0,0000	0,00%	green phosphor activator, dopant/CRT, PWB

Nombre	Contenido (% peso total)	Eficiencia reciclaje	Uso / Localización
berilio	0,0157	0,00%	thermal conductivity/PWB, connectors
oro	0,0016	99,00%	connectivity, conductivity/PWB, connectors
europio	0,0002	0,00%	phosphor activator/PWB
titanio	0,0157	0,00%	pigment, alloying agent/(aluminum) housing
rutenio	0,0016	80,00%	resistive circuit/PWB
cobalto	0,0157	85,00%	structural, magnetivity/(steel) housing,CRT, PWB
paladio	0,0003	95,00%	connectivity, conductivity/PWB, connectors
manganeso	0,0315	0,00%	structural, magnetivity/(steel) housing,CRT, PWB
plata	0,0189	98,00%	conductivity/PWB, connectors
antimonio	0,0094	0,00%	diodes/housing, PWB, CRT
bismuto	0,0063	0,00%	wetting agent in thick film/PWB
cromo	0,0063	0,00%	decorative, hardener/(steel) housing
cadmio	0,0094	0,00%	battery, blu_green phosphor emitter/housing, PWB, CRT
selenio	0,0016	70,00%	rectifiers/PWB
niobio	0,0002	0,00%	welding allow/housing
itrio	0,0002	0,00%	red phosphor emitter/CRT
rodio	0,0000	50,00%	thick film conductor/PWB
platino	0,0000	95,00%	thick film conductor/PWB
mercurio	0,0022	0,00%	batteries, switches/housing, PWB
arsénico	0,0013	0,00%	doping agents in transistors/PWB
silicio	24,8803	0,00%	glass, solid state devices/CRT, PWB

A pesar de todo, y a diferencia de los desechos tradicionales, el principal impacto ambiental de la basura electrónica se debe principalmente a un proceso inadecuado, más que a su contenido tóxico inherente.

En la actualidad, en Europa la mayor parte de los residuos eléctricos y electrónicos se incorporan a los flujos de los residuos urbanos, lo que quiere decir que se desechan en vertederos o se incineran sin ningún tratamiento previo. En 1998 en los EEUU sólo se reciclaron un 11% de los ordenadores personales y un 26% de los periféricos de los ordenadores obsoletos. Así, buena parte de los agentes contaminantes que se encuentran en los flujos de residuos urbanos proceden de dichos aparatos.

En el vertido de residuos electrónicos se liberan metales pesados (como plomo, cadmio y mercurio) y otras sustancias tóxicas que acaban contaminando la tierra y los acuíferos. En la incineración de los retardantes de llama brominados y del PVC se generan dioxinas y furanos extremadamente tóxicos, y el cobre, abundante en la basura electrónica, empeora la situación debido a que es un buen catalizador de la formación de dioxinas. Si además la incineración o quemado se realiza al aire abierto, la inhalación de las emisiones de gas puede provocar ataques de asma, problemas respiratorios e irritación de ojos. La exposición crónica a estas emisiones genera enfisema y cáncer.

Se calcula que, con un tratamiento adecuado, se podría reaprovechar entre el 70% y el 90% de lo que se lanza, reusándolos cuando fuera posible o reciclándolos. En éste último caso, los equipos se desmontan y los componentes potencialmente peligrosos se aíslan y se entregan a gestores autorizados para su tratamiento. En la fase de trituración, los materiales se clasifican por tipos, se revalorizan, se tratan para ser recuperados y, finalmente, se venden a las industrias que los pueden aprovechar.

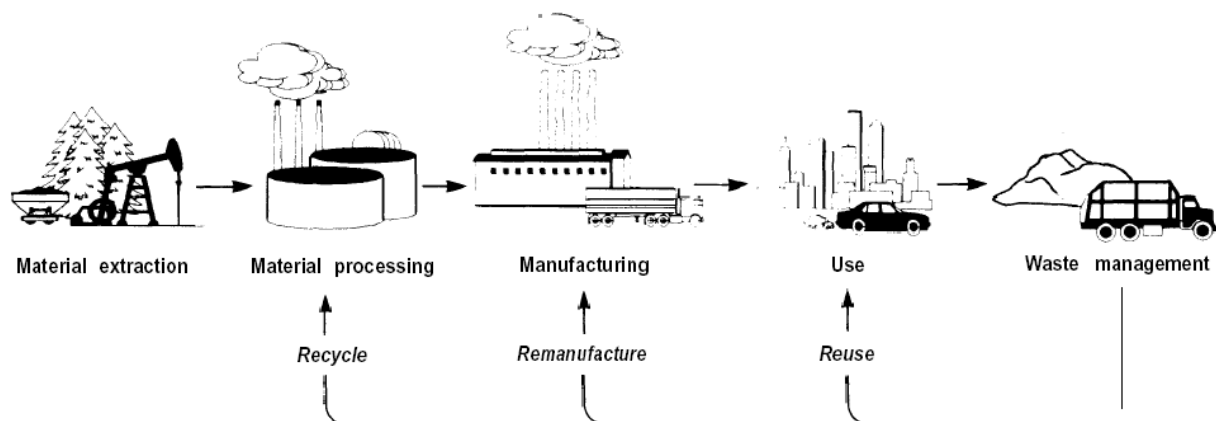


Ilustración 5: Ciclo de vida de un producto, con un correcto tratamiento de los residuos.

Trece países, la mayoría europeos, ya aprobaron normas que prevén la obligación de reciclar los ordenadores. En este aspecto, la directiva *Wastes from Electrical and Electronic Equipment* de la Unión Europea, que se puede consultar en <http://www.dti.gov.uk/innovation/sustainability/weee/page30269.html>, hace responsables a las empresas de electrónica de deshacerse de sus productos una vez los usuarios ya no los quieren.⁵ Se estima que para ello el coste medio a añadir al precio de producción de un equipo ronda los 90 euros [GOD].

Pero gran parte de los residuos informáticos (se calcula que el 80% en el caso de EEUU y el 60% en el caso de Europa) se envían a países en vías de desarrollo, donde los materiales contaminantes acaban en campos y costas, ensuciando aguas y suelos, cultivos, animales y agua potable. El 2002 se trasladaron a Asia entre 6 y 10 millones de ordenadores obsoletos [JIM].

Nos encontramos con que las regiones más ricas del planeta, el llamado primer mundo, está haciendo caso omiso del *Convenio de Basilea* de las Naciones Unidas, que se puede consultar en <http://www.basel.int/>, y que desde 1989 prohíbe la exportación de residuos peligrosos de las naciones ricas a las pobres bajo cualquier pretexto, incluyendo el reciclaje. Hasta la fecha, Estados Unidos es el único país industrializado que no ha ratificado dicho convenio.

Así las regiones más pobres de Asia (principalmente en China, India y Pakistan) se están convirtiendo en las colonias-vertedero de residuos tóxicos del resto del planeta, donde la gente más pobre se expone a envenenamientos intentando extraer los diferentes metales y componentes mediante tecnología medieval y sin ningún respeto hacia el medio ambiente, por un mísero salario de 1'5 dolares diarios.⁶

Podéis ampliar información sobre el tema de las exportaciones de residuos tóxicos a países del tercer mundo en la página web de la *Basel Action Network* <http://www.ban.org/>.

5 En España dicha directiva se traduce en el real decreto 208/2005 (que entra en vigor el 13/8/2005), que se puede consultar en <http://www.boe.es/boe/dias/2005-02-26/pdfs/A07112-07121.pdf> (con una pequeña corrección en <http://www.boe.es/boe/dias/2005-03-30/pdfs/A10800-10800.pdf>). Esta ley indica que son los ciudadanos los que deben depositar los equipos en puntos de recogida específicos y que a partir de ahí son los fabricantes quienes deben hacerse cargo del procesado de los residuos.

6 Recomiendo leer los espeluznantes reportajes “Ghosts in the Machines” y “Recycling: No Excuse for Global Environmental Injustice”, que encontrareis en <http://www.ban.org/main/library.html>, y también visitar la galería de fotos <http://www.ban.org/photogallery/>, para comprobar las condiciones de vida de esta gente, y como en el trabajo exponen su salud y la del medio ambiente quemando al aire abierto basura plástica, tocando soldaduras tóxicas, lanzando ácido a los ríos, y vertiendo todo tipo de desechos en general.

Tabla 3: Riesgos ambientales y para la salud laboral observados en ciudades-vertedero de Asia [BAN].

Componente	Procesado	Peligro salud laboral	Peligro ambiental
Tubo de rayos catódicos	Romper, arrancar la junta de cobre, y lanzar	- Silicosis - Cortes del vidrio en caso de explosión - Inhalación y contacto con fósforo y cadmio.	- Plomo, bario y otros metales pesados contaminando las aguas subterráneas. - Emisión de fósforo tóxico.
Placas de circuito impreso	Desoldar y arrancar los chips	- Inhalación de estaño y plomo. - Posible inhalación de dioxinas brominadas, berilio, cadmio y mercurio.	- Emisión al aire de las mismas sustancias.
Procesado de placas de circuito impreso ya desmontadas	Quemar al aire abierto los circuitos ya sin chips para arrancar los metales que quedan	- Inhalación por parte de los trabajadores y de los residentes cercanos de estaño, plomo, dioxinas brominadas, berilio, cadmio y mercurio. - Irritación de las vías respiratorias.	- Contaminación por plomo y estaño del entorno más cercano, incluyendo tanto la superficie como las aguas subterráneas. - Emisión de dioxinas brominadas, berilio, cadmio y mercurio.
Chips y otros componentes chapados en oro	Arrancar químicamente utilizando ácido nítrico y ácido clorhídrico a lo largo de las orillas del río	- Lesiones permanentes provocadas por el contacto del ácido con la piel o los ojos. - Irritación de las vías respiratorias, edema pulmonar, fallo circulatorio y muerte provocadas por la inhalación de vapor de los ácidos, cloro y dióxido de azufre.	- Hidrocarburos, metales pesados, sustancias brominadas, etc. lanzados directamente al río y orillas. - Acidificación del río que mata a los peces y la flora.
Plásticos del ordenador y periféricos	Fragmentar y fundir a baja temperatura para ser reutilizados en plásticos de baja categoría	- Probable exposición a hidrocarburos, dioxinas brominadas y metales pesados.	- Emisión de hidrocarburos, dioxinas brominadas y metales pesados.
Cables	Quemar al aire abierto para recuperar el cobre	- Exposición de los trabajadores que viven en las áreas de quemado a dioxinas brominadas y cloradas, y a hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) cancerígenos.	- Emisión al aire, agua y suelo de cenizas de hidrocarburos, incluyendo HAP.
Partes diversas del ordenador encajadas en plástico	Quemar al aire abierto para recuperar el acero y otros metales	- Exposición a hidrocarburos, incluyendo HAP, y dioxinas.	- Emisión al aire, agua y suelo de cenizas de hidrocarburos, incluyendo HAP.
Cartuchos de tóner	Utilizar pinceles para recuperar el polvo del tóner sin ninguna protección	- Irritación de las vías respiratorias. - El polvo de carbón del tóner negro es un probable cancerígeno. - La toxicidad de los tóners de color cian, amarillo y magenta es desconocida.	- La toxicidad de los tóners de color cian, amarillo y magenta es desconocida.
Cobre y acero secundarios y fundido de metales preciosos	Incinerar para recuperar el acero y cobre de la basura.	- Exposición a dioxinas y metales pesados.	- Emisión de dioxinas y metales pesados.

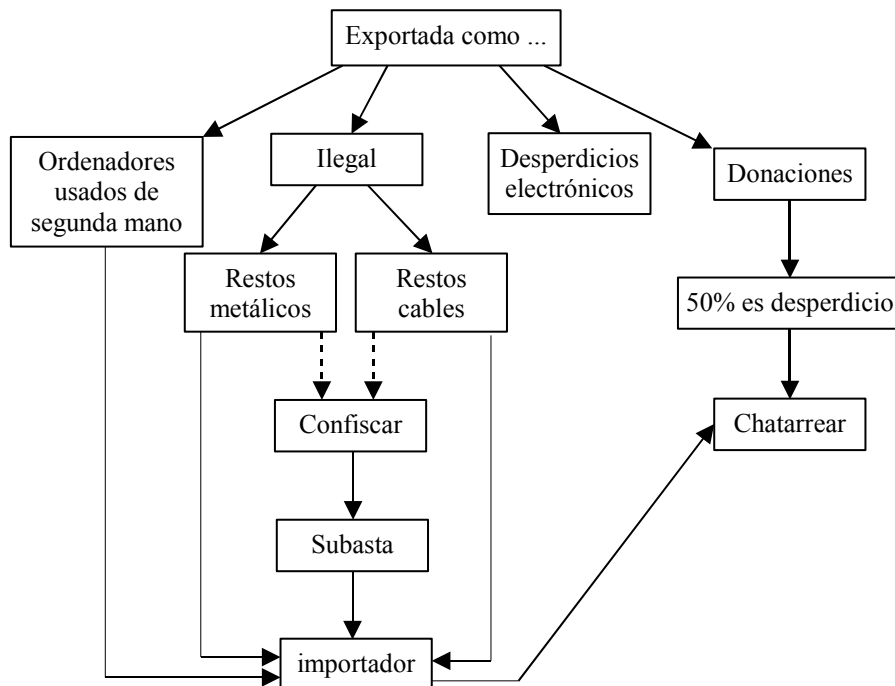


Ilustración 6: modos de exportación de basura electrónica a países del tercer mundo.

La combinación de (1) la prohibición de exportar residuos, y (2) la obligación de que los productores tengan la responsabilidad física y financiera del ciclo de vida de sus productos, incentivaría rápidamente al mercado para producir bienes de consumo no tóxicos y fácilmente reciclables.



Ilustración 7: Somos los responsables. Debemos reflexionar qué pasará con la tecnología que hoy adquirimos.

Consejos

Reducir:

- Como usuarios deberíamos preguntarnos si realmente necesitamos comprar un ordenador nuevo. Quizás con una ampliación del que ya tenemos o con la compra de un ordenador de segunda mano ya podemos realizar nuestras tareas informáticas.⁷
- Configura el ordenador y sus dispositivos para que pasen a un modo de bajo consumo cuando lleven un cierto periodo de tiempo sin utilizarse.
- Sustituye tus sistemas de archivo en papel por sistemas de archivo en unidades de almacenamiento informático: disquetes, CD-ROMs, discos duros, ...
- Realiza tus copias de seguridad sobre CDs regrabables en lugar de los CDs de un sólo uso.
- Para imprimir documentos que no requieren una presentación perfecta, reutiliza papel con sólo una cara impresa.
- Las pantallas planas gastan la mitad de electricidad y emiten menos radiación. (Por cierto, para evitar la exposición a campos electromagnéticos de las pantallas CRT conviene ponerse a 30 cm. de distancia de la pantalla).

Reusar:

- Intenta revender el ordenador en el mercado de productos usados.
- Entrega el ordenador a alguna asociación local o a alguna ONG que envíe ordenadores a asociaciones de países del tercer mundo para paliar el problema de la brecha tecnológica.

Reciclar:

- Deja el ordenador en una chatarrería especializada en material electrónico. Actualmente los ayuntamientos están creando puntos de reciclaje gratuitos en nuestras ciudades.
- Compra aparatos diseñados y fabricados con una vida útil lo más larga posible, y restringiendo la utilización de determinadas sustancias peligrosas.

Como ciudadanos, debemos exigir a los gobiernos políticas que regulen el uso de sustancias nocivas y la gestión de los desechos informáticos. Concretamente, las directivas de la Unión Europea respecto estos puntos se encuentran en

- <http://www.dti.gov.uk/files/file29931.pdf> y
- <http://www.dti.gov.uk/files/file29912.pdf>.

Greenpeace mantiene un ranking de fabricantes de ordenadores personales según su política de químicos, y de recogida y reciclaje de productos desechados, en <http://www.greenpeace.org/espana/campaigns/t-xicos/electr-nicos-alta-tecnolog-a/ranking-verde-de-electr-nicos>.

⁷ Revender ordenadores con software propietario presenta el problema de que, aunque la mayoría de licencias de programas preinstalados permiten transferir el derecho de uso junto con la propiedad del hardware original, para transferir el derecho de propiedad el usuario original debe transferir la copia impresa de la aceptación de la licencia que viene con el ordenador, y resulta que muchos usuarios lanzan dicho documento. Así nos encontramos que revender un ordenador sin software es poco atractivo, y revender un ordenador con software propietario sin la correspondiente licencia es ilegal. Por suerte, la posibilidad de vender dicho ordenador con software libre instalado salva dicho inconveniente.

Referencias

Cuando comencé a redactar este documento, no aspiraba más que a escribir dos o tres hojas de datos para informar a la gente sobre el problema de la contaminación producida por el material electrónico. Con el tiempo el documento ha ido creciendo en contenido, y ahora que intento elaborar un índice bibliográfico me encuentro con el problema de que ya he perdido las referencias a los primeros datos que incorporé. Discúlpame si algunos de los datos que aquí has leído no se encuentran respaldados por su correspondiente referencia, especialmente si son datos que parecen contradictorios.

[???] "Referencia extraviada", , .

[BAN] "Exporting Harm: The High-Tech Trashing of Asia", Basel Action Network & Silicon Valley Toxics Coalition, <http://amath.colorado.edu/computing/Recycling/EWaste.pdf>.

[ERI1] "Environmental impacts of microchip manufacture", Eric D. Williams, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2004.02.049>.

[ERI2] "Revisiting energy used to manufacture a desktop computer: hybrid analysis combining process and economic input-output methods", Eric D. Williams, <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9100/28876/01299692.pdf?arnumber=1299692>.

[ERI3] "The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices", Eric D. Williams, Robert U. Ayre y Miriam Heller, <http://pubs.acs.org/cgi-bin/article.cgi/esthag/2002/36/i24/pdf/es025643o.pdf>.

[GOD] "90 euros", Jon Godfrey, <http://www.laflecha.net/articulos/blackhats/ewaste/>.

[HAN] "Tabla presentada en Microelectronics and Computer Technology Corporation 1996", Handy and Harman Electronic Materials Corp., <http://www.handyharman.com/>.

[JIM] "The real-life recycling horror show", Jim Puckett, <http://www.ban.org/Library/Jim%20Puckett%27s%20Guest%20Column.pdf>.

[MIC] "Environmental Implications of Wireless Technologies: News Delivery and Business Meetings", Michael W. Toffel y Arpad Horvath, <http://pubs.acs.org/cgi-bin/asap.cgi/esthag/asap/pdf/es035035o.pdf>.

[MUN] "El monstruo de las 200000 toneladas de basura electrónica", diario "El Mundo", <http://www.elmundo.es/suplementos/ariadna/2005/233/1115406000.html>.

[OPC] "Revista Opcions nº 6: Els Ordinadors (páginas 8 a 12)", Opcions, <http://cric.pangea.org/pdf/op62.pdf>.

[ROT] "Energy Consumption by Office and Telecommunications Equipment in Commercial Buildings. Volume I: Energy Consumption Baseline.", Kurt W. Roth, Fred Goldstein y Jonathan Kleinman, http://www.eere.energy.gov/buildings/info/documents/pdfs/office_telecom-vol1_final.pdf.

[SVTC] "Just say no to e-waste: background document on hazards and waste from computers", Silicon Valley Toxics Coalition, <http://www.svtc.org/cleancc/pubs/sayno.htm>.

Apéndice: tóxicos en los desechos electrónicos

Los siguientes datos están sacados mayoritariamente de [BAN] (los superíndices que aparecen aquí son las referencias dentro de dicho artículo) y [SVTC]. Si quieres saber más sobre la toxicidad de alguna sustancia, puedes consultar la tabla <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html> o el informe <http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/toxic-tech-chemicals-in-elec.pdf>.

Lead^[25]. The negative effects of lead are well established and recognized. It was first banned from gasoline in the 1970s. Lead causes damage to the central and peripheral nervous systems, blood systems, kidney and reproductive system in humans. Effects on the endocrine system have been observed and its serious negative effects on children's brain development are well documented. Lead accumulates in the environment and has high acute and chronic effects on plants, animals and micro-organisms.^[26] The main applications of lead in computers are: glass panels and gasket (frit) in computer monitors (3-8 pounds per monitor), and solder in printed circuit boards and other components. Consumer electronics constitute 40% of lead found in landfills.

Cadmium. Cadmium compounds are toxic with a possible risk of irreversible effects on human health, and accumulate in the human body, particularly the kidneys.^[27] Cadmium is adsorbed through respiration but is also taken up with food. Due to the long half-life (30 years), cadmium can easily be accumulated in amounts that cause symptoms of poisoning. Cadmium shows a danger of cumulative effects in the environment due to its acute and chronic toxicity. Cadmium occurs in certain components such as SMD chip resistors, infrared detectors, and semiconductor chips. Cadmium is also a plastics stabilizer and some older cathode ray tubes contain cadmium.

Mercury^[28]. Mercury can cause damage to various organs including the brain and kidneys, as well as the fetus. Most importantly, the developing fetus is highly susceptible through maternal exposure to mercury. When inorganic mercury spreads out in the water, it is transformed to methylated mercury in the bottom sediments. Methylated mercury easily accumulates in living organisms and concentrates through the food chain, particularly via fish. It is estimated that 22% of the yearly world consumption of mercury is used in electrical and electronic equipment. It is used in thermostats, sensors, relays, switches (e.g. on printed circuit boards and in measuring equipment), medical equipment, lamps, mobile phones and in batteries. Mercury, used in flat panel displays, will likely increase as their use replaces cathode ray tubes.

Hexavalent Chromium/Chromium VI^[29]. Chromium VI is still used as corrosion protection of untreated and galvanized steel plates and as a decorative or hardener for steel housings. It easily passes through cell membranes and is then absorbed, producing various toxic effects in contaminated cells. It causes strong allergic reactions even in small concentrations. Asthmatic bronchitis is another allergic reaction linked to chromium VI. Chromium VI can cause damage to DNA and is extremely toxic for the environment. It is well documented that contaminated wastes can leach from landfills. Incineration results in the generation of fly ash from which chromium is leachable, and there is widespread agreement among scientists that wastes containing chromium should not be incinerated.

Plastics including PVC. Plastics make up 13.8 pounds of an average computer. The largest volume of plastics (26%) used in electronics has been poly-vinyl-chloride (PVC). PVC is mainly found in cabling and computer housings, although many computer moldings are now made with the somewhat more benign ABS plastics. PVC is used for its fire-retardant properties. As with many other chlorine-containing compounds, dioxins and furans can be formed when PVC is burned within a certain temperature range.

Brominated flame retardants (BFRs). BFRs are used in the plastic housings of electronic

equipment and in circuit boards to prevent flammability. More than 50% of BFR usage in the electronics industry consists of tetrabromobisphenol-A (TBBPA), 10% is polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and less than 1% is polybrominated biphenyls (PBB).^[30] Some BFRs have been targeted for phase out by the European Parliament between the years of 2003 and 2006. Various scientific observations indicate that Polybrominated Diphenylethers (PBDE) might act as endocrine disrupters. Research has revealed that levels of PBDEs in human breast milk are doubling every five years and this has prompted concern because of the effect of these chemicals in young animals. Polybrominated Biphenyls (PBBs) may cause an increased risk of cancer of the digestive and lymph systems. High concentrations of PBDEs have been found in the blood of workers in recycling plants. A recent Swedish study found that when computers, fax machines or other electronic equipment are recycled, dust containing toxic flame-retardants is spread in the air. Workers at dismantling facilities had 70 times the level of one form of flame retardant than are found in hospital cleaners. Clerks working full-time at computer screens also had levels of flame-retardants in their blood, slightly higher than for cleaners. Humans may directly absorb PBDEs when they are emitted from electronic circuit boards and plastic computer and TV cabinets.

Barium. Barium is a soft silvery-white metal that is used in computers in the front panel of a CRT, to protect users from radiation. Studies have shown that short-term exposure to barium has caused brain swelling, muscle weakness, damage to the heart, liver, and spleen.^[31] There is still a lack of data on the effects of chronic barium exposures to humans. Animal studies, however, reveal increased blood pressure and changes in the heart from ingesting barium over a long period of time.

Beryllium. Beryllium is a steel-grey metal that is extremely lightweight, hard, a good conductor of electricity and heat, and is non-magnetic. These properties make beryllium suitable for many industrial uses, including, electronic applications such as computers. In computers, beryllium is commonly found on motherboards and “finger clips” as a copper beryllium alloy used to strengthen the tensile strength of connectors and tinyplugs while maintaining electrical conductivity. Beryllium has recently been classified as a human carcinogen as exposure to it can cause lung cancer.^[32] The primary health concern is inhalation of beryllium dust, fume or mist. Workers who are constantly exposed to beryllium, even in small amounts, and who become sensitized to it can develop what is known as Chronic Beryllium Disease (beryllicosis), a disease which primarily affects the lungs.^[33] Exposure to beryllium also causes a form of skin disease that is characterized by poor wound healing and wart-like bumps.^[34] Studies have shown that people can still develop beryllium disease even many years following the last exposure.

Toners. One of the ubiquitous computer peripheral scraps and post consumer E-waste is the plastic printer cartridge containing black and color toners. The main ingredient of the black toner is a pigment commonly called carbon black^[35], the general term used to describe the commercial powder form of carbon. Inhalation is the primary exposure pathway, and acute exposure may lead to respiratory tract irritation.^[36] The International Agency for Research on Cancer has classified carbon black as a class 2B carcinogen, possibly carcinogenic to humans.^[37] Little information exists on the hazards of colored toners. Some reports indicate that such toners (cyan, yellow and magenta) contain heavy metals.

Phosphor and additives. Phosphor is an inorganic chemical compound that is applied as a coat on the interior of the CRT faceplate. Phosphor affects the display resolution and luminance of the images that is seen in the monitor. The hazards of phosphor in CRTs are not well known or reported, but the U.S. Navy has not minced words about the hazards involved in some of their guidelines: “NEVER touch a CRT's phosphor coating: it is extremely toxic. If you break a CRT, clean up the glass fragments very carefully. If you touch the phosphor seek medical attention immediately.”^[38] The phosphor coating contains heavy metals, such as cadmium, and other rare earth metals, e.g. zinc, vanadium, etc. as additives. These metals and their compounds are very toxic. This is a serious hazard posed for those who dismantle CRTs by hand.