

# Generación de residuos electrónicos en Chile

Análisis de la situación actual y estimación presente y futura de los volúmenes de residuos de computadores, utilizando el modelo de flujo de materiales

Bernhard Steubing



## Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas involucradas en este estudio. En especial a Heinz Böni, Uca Silva y Paz Bartolomé, por su enorme respaldo y orientaciones; a Christian Ludwig, por la supervisión de la tesis; a Raúl Ciudad, Aldo Signorelli y Verena Fuhrmann, de la Asociación Chilena de Empresas de Tecnología de Información A.G. (ACTI), por su ayuda en la encuesta; a Sandra Olgún, de Computación Olidata, por su experto apoyo y compromiso; a Joost Meijer y Claudia Guerrero, de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), por su ayuda; a Paola Ángel, de la Comisión Regional del Medio Ambiente, Región Metropolitana, por su apoyo y entusiasmo en el tema de los residuos electrónicos; a Markus Leitner, de la Embajada de Suiza, por su importante compromiso con mi estudio; a Angelika Hucke, de Swisschile, por su apoyo en la encuesta; a Rubén Muñoz, de Todo Chilenter, por su valiosa experiencia y saber; a Álvaro Zurita, GTZ, por su ayuda; a Juan y Gabriela Pérez, de Degraf, por su apoyo y hospitalidad; a Fernando Nilo, de Recycla, por su opinión experta; a Mariel Jara, de Swissinfo, por su gran artículo sobre mi estudio; a Mathias Schlupe, Rolf Widmer y Martin Streicher-Porte, por sus útiles aportes; y, por supuesto, a todos aquellos que contribuyeron indirectamente a este estudio haciendo de mi estadía en Chile un recuerdo imborrable.

## Tabla de Contenido

<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>8</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivos de este estudio	12
1.2 Definición de residuos de computadores	12
1.3 Instituciones involucradas en este estudio	13
<b>2 Análisis situacional</b>	<b>14</b>
2.1 Uso de TIC en Chile	14
2.1.1 La Agenda Digital	14
2.2 La industria computacional	15
2.2.1 Características generales	15
2.2.2 Ventas de computadores	16
2.2.3 Responsabilidad extendida del productor	17
2.2.4 El papel potencial de ACTI	18
2.3 Consumidores de TIC: gobierno, empresas, hogares	18
2.3.1 Consumo de computadores	18
2.3.2 Tipos de equipos computacionales en uso	19
2.3.3 Compra de equipos nuevos	20
2.3.4 Adquisición de equipos: nuevos, usados (2º uso) o <i>leasing</i>	21
2.3.5 Tiempos de uso	21
2.3.6 Destino de equipos computacionales obsoletos	22
2.4 Reutilización y reacondicionamiento de computadores	23
2.4.1 En general	23
2.4.2 Reutilización y reacondicionamiento comercial	25
2.4.3 Donaciones	28
2.5 Gestión de residuos	30
2.5.1 Gestión de residuos sólidos en general	30
2.5.2 Marco legal	33
2.5.3 Industria recicladora de computadores	36
2.5.4 Tratamiento final	40
2.6 Autoridades medioambientales	41
2.6.1 Funciones, responsabilidad e instrumentos	41
2.6.2 Avances respecto del problema de los RE	42
<b>3 Métodos</b>	<b>44</b>
3.1 Análisis de flujo de materiales	44
3.1.1 En general	44
3.1.2 Elección del método	44
3.1.3 Definiciones	44
3.1.4 Descripción matemática	45
3.1.5 Descripción de un sistema	46
3.2 Recopilación de información	48
3.2.1 Literatura	48
3.2.2 Cuestionario	49
3.2.3 Entrevistas	49
<b>4 Análisis de flujo de materiales</b>	<b>50</b>
4.1 El modelo	50

4.1.1	Simplificación	50
4.2	Datos de entrada del modelo	51
4.2.1	Datos de producción y ventas	51
4.2.2	Tiempos de uso	54
4.2.3	Coeficientes de transferencia	54
4.3	Validación del modelo	55
4.4	Escenarios considerados en el modelo	57
4.4.1	Escenario 1: de datos recopilados	57
4.4.2	Escenario 2: de datos recopilados, con ajustes	58
4.4.3	Escenario 3: mejor caso	58
4.4.4	Escenario 4: peor caso	58
4.4.5	Resumen de escenarios del modelo	58
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>59</b>
5.1	Generación de RE	59
5.1.1	Comparación de escenarios	59
5.1.2	Generación de residuos computacionales según datos recopilados	61
5.1.3	Residuos de equipos de escritorio, portátiles, CRT y LCD	62
5.1.4	Importancia de los flujos individuales	64
5.1.5	Flujos de residuos computacionales en Chile en 2007	65
5.2	Comparación entre el modelo de análisis de flujo de materiales (AFM) y un modelo simple	65
5.3	Ciclo de vida útil de equipos computacionales	67
5.4	Cuota de reciclaje de computadores en 2007	67
5.5	El que compra no es el que elimina	68
5.6	Recuperación de materiales de residuos computacionales	69
<b>6</b>	<b>Discusión</b>	<b>71</b>
6.1	Recopilación de información y calidad	71
6.1.1	Literatura	71
6.1.2	Cuestionario	71
6.1.3	Entrevistas	72
6.2	Modelo	72
6.2.1	Calidad de los supuestos y debilidad del modelo	72
6.2.2	Comparación con el modelo simple	73
6.2.3	Calidad de las predicciones	73
<b>7</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>74</b>
	<b>Referencias</b>	<b>76</b>
	<b>Anexos</b>	<b>77</b>
A.	Entrevistas	78
B.	Cuestionario	79
C.	Resultados del cuestionario	80
D.	Escenarios	86
E.	Resultados del modelo (no presentados antes)	87
F.	Composición de equipos computacionales	89

## Lista de Figuras

Figura 1. Modelo de análisis de flujo de materiales que muestra la importancia de los flujos en el mercado.	9
Figura 2. Generación de residuos de computadores según su peso, 1996–2020.	10
Figura 2-1 Venta de computadores en Chile desde 1996 a 2007	17
Figura 2-2 Porcentajes de todos los computadores vendidos al gobierno, empresas y hogares	19
Figura 2–3 Tipos de equipos computacionales en uso en 2007	19
Figura 2–4 Compra de equipos computacionales	20
Figura 2–5 Adquisición de equipo computacional (nuevo, usado o por <i>leasing</i> )	21
Figura 2-6 Tiempo de uso de equipo computacional	22
Figura 2–7 Destino de equipos computacionales obsoletos	23
Figura 2–8 Principales flujos de equipos computacionales desde el primer al segundo uso	24
Figura 2–9. Negocios de venta de computadores en la zona de San Diego, Santiago	26
Figura 2-10. Un local de reparaciones y residuos computacionales amontonados en un estacionamiento de San Diego	27
Figura 2–11 Esquema del flujo de computadores en Biobío	27
Figura 2–12. Tiendas de computadores en el área Biobío de Santiago	28
Figura 2–13 Diferentes tipos de residuos generados en Chile	30
Figura 2–14 Esquema principal del flujo de materiales durante el reciclaje de RE en Chile	37
Figura 3-1 Ilustración de los principales elementos utilizados en el análisis de flujo de materiales	45
Figura 3–2 Esquema de modelo de análisis de flujo de masas	47
Figura 3–3 Descripción del modelo de datos de insumos	47
Figura 4–1. Esquema de flujo del modelo usado en este estudio	50
Figura 4–2 Flujo de datos principal a través del modelo	51
Figura 4–3 Presentación gráfico de la entrada al modelo: computadores de escritorio, portátiles, CTR y LCD	52
Figura 4–4 Comparación de los datos del modelo y de IDC para su validación	56
S3 Residuos computacionales S3 Computadores nuevos S4 Residuos computacionales Computadores nuevos	59
Figura 5–1. Generación de residuos computacionales en Chile, en cantidades, 1996–2020	59
Figura 5–2. Generación de residuos computacionales en Chile, en toneladas, 1996–2020	60
Figura 5–3 Generación de residuos computacionales, en toneladas, 1996–2006 y 2007–2020	61
Figura 5–4 Generación de residuos computacionales en números absolutos, 1996–2020	62
Figura 5–5 Generación de residuos computacionales en peso, 1996–2020	62
Figura 5–6 Cantidades y tipo de residuos computacionales, en número, 1996–2020	63
Figura 5–7 Cantidades y tipo de residuos computacionales, en peso, desde 1996 a 2020	63
Figura 5–8 Importancia de los flujos individuales en el modelo para el escenario 2	64
Figura 5–9 Flujos de residuos computacionales durante el año 2007 en toneladas según escenario 2	65
Figura 5–10 Comparación entre un modelo simple y los datos del AFM, en números absolutos	66
Figura 5–11 Comparación entre un modelo simple y datos del AFM, peso	66
Figura 5–12 Compra y descarte de equipo computacional (en cantidades)	69

## Lista de Tablas

Tabla 2-1 Indicadores de desarrollo de TIC en Chile y otros países en 2006	14
Tabla 2-2 Productores de equipo computacional en Chile y participación en el mercado, 2006	15
Tabla 2-3 Computadores importados, con marca ensamblados localmente, y sin marca propia ensamblados localmente, 2006	16
Tabla 2-4 Cuotas de reciclaje en Chile y Suiza para ciertos materiales	32
Tabla 2-5 Costo de algunas opciones de tratamiento final de residuos	33
Tabla 2-6 Legislación aplicable a la gestión de residuos sólidos	34
Tabla 2-7 Cantidad de equipo computacional reciclado anualmente por empresas receptoras	40
Tabla 3-1 Peso promedio de equipos computacionales	46
Tabla 3-2 Cantidad de cuestionarios enviados y respuestas recibidas, desagregados por receptores	49
Tabla 4-1 Equipos computacionales (de escritorio, portátiles, CRT y LCD) vendidos en Chile desde 1994 a 2007, y proyecciones al año 2020	52
Tabla 4-2 Análisis de los supuestos utilizados para completar los datos de entrada del modelo	53
Tabla 4-3 Tiempos de uso de equipos computacionales usados en los procesos del modelo	54
Tabla 4-4 Resumen de los coeficientes de transferencia utilizados en el modelo (en porcentajes)	55
Tabla 4-5 Subestimación del modelo relativa a datos de IDC (en porcentajes)	57
Tabla 4-6 Resumen de los escenarios del modelo	58
Tabla 5-1 Destino de equipos computacionales obsoletos tras el 1 <sup>er</sup> uso (en porcentajes)	64
Tabla 5-2 Tiempo de vida útil promedio de equipos computacionales según escenarios 1 y 2	67
Tabla 5-3 Cuota de reciclaje de residuos computacionales en 2007	68
Tabla 5-4 Posible recuperación de materiales a partir de residuos computacionales, 2007-2020	69
Tabla 5-5 Metales y contaminantes seleccionados presentes en residuos de equipos de escritorio y CRT, 2007-2020	70

## Abreviaturas empleadas

ACTI	Asociación Chilena de Empresas de Tecnología de Información A.G.
AD	Agenda Digital
AFM	Análisis de flujo de materiales
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
COREMA	Comisión Regional del Medio Ambiente
CRT	Cathode ray tube (tubo de rayos catódicos)
EMPA	Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (Instituto Federal Suizo de Investigación y Prueba de Materiales y Tecnologías)
EPFL	Swiss Federal Institute of Technology at Lausanne (Instituto Federal Suizo de Tecnología, Lausana)
ESTACOMEX	Estadística de Comercio Exterior. Base de datos interactiva sobre comercio exterior del Servicio Nacional de Aduanas, Chile
GAD	Grupo de Acción Digital
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Cooperación Alemana)
IDC	International Data Corporation (Corporación Internacional de Información)
LAC	Latinoamérica y el Caribe
LCD	Liquid crystal display (Pantalla de cristal líquido)
ORP	Organizaciones de Responsabilidad del Productor
PYMES	Pequeñas y medianas empresas
RAEE	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
REP	Responsabilidad extendida del productor
RM	Región Metropolitana (de Santiago)
RSM	Residuos sólidos gestionados por las municipalidades (residuos domésticos)
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SINIA	Sistema Nacional de Información Ambiental
SUR	SUR Corporación de Estudios Sociales y Educación
SWICO	Swiss Association for Information, Communication and Organization Technology (Asociación Suiza de la Tecnología de Información, Telecomunicación y Organización).
TIC	Tecnologías de Información y Comunicación

### Objetivo del estudio

A medida que la economía chilena y su industria de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) van creciendo, resulta ineludible actuar en la gestión de las crecientes cantidades de residuos eléctricos y electrónicos (RAEE) que se asocian a tal desarrollo. Para contribuir a la instalación de una adecuada infraestructura de reciclaje, este estudio se ha planteado analizar la generación y gestión de los residuos electrónicos (RE) y estimar la cantidad de tales residuos provenientes de computadores que se producen en Chile, junto con su proyección a futuro.

### Método

Se utilizó el análisis de flujo de materiales (AFM) como método de estimación de las cantidades de residuos de computadores en Chile en el período entre 1994 y 2020. Se eligieron los residuos de computadores como sistema indicador de RAEE, definido en este estudio como equipos de escritorio, computadores portátiles, monitores (TRC, tubos de rayos catódicos) y monitores planos (LCD, pantallas de cristal líquido). Se ha desarrollado un modelo de AFM para simular el flujo de equipos computacionales desde su producción hasta su reciclaje/tratamiento final. El modelo se basa en cifras de venta de computadores, los tiempos de uso y los flujos a través de los cuales se conecta a los principales actores en el mercado. La información que sirve de base al análisis se ha recopilado por medio de un cuestionario, de entrevistas y en la revisión bibliográfica.

### Resultados

#### *El mercado chileno de computadores*

Una característica importante del mercado chileno de computadores es que el 75 por ciento de él está controlado por un pequeño grupo de productores internacionales de TIC, mientras una gran cantidad de pequeños ensambladores locales completa el escenario con el restante 25 por ciento. Los tres principales grupos de consumidores —empresas, hogares e instituciones gubernamentales— compran respectivamente el 55, 35 y 10 por ciento del equipo computacional (véase Figura 1). Sin embargo, no todo el equipo es comprado nuevo. La reutilización es un fenómeno de primera importancia, en circunstancias de que más de la mitad del equipo computacional tiene un segundo uso. Por consiguiente, el reacondicionamiento desempeña un papel esencial. La reutilización de los equipos computacionales se da principalmente a nivel domiciliario y en pequeñas instituciones y empresas, que tarde o temprano desechan casi 90 por ciento de todos los computadores. La media de *vida útil* de los computadores es de ocho años.

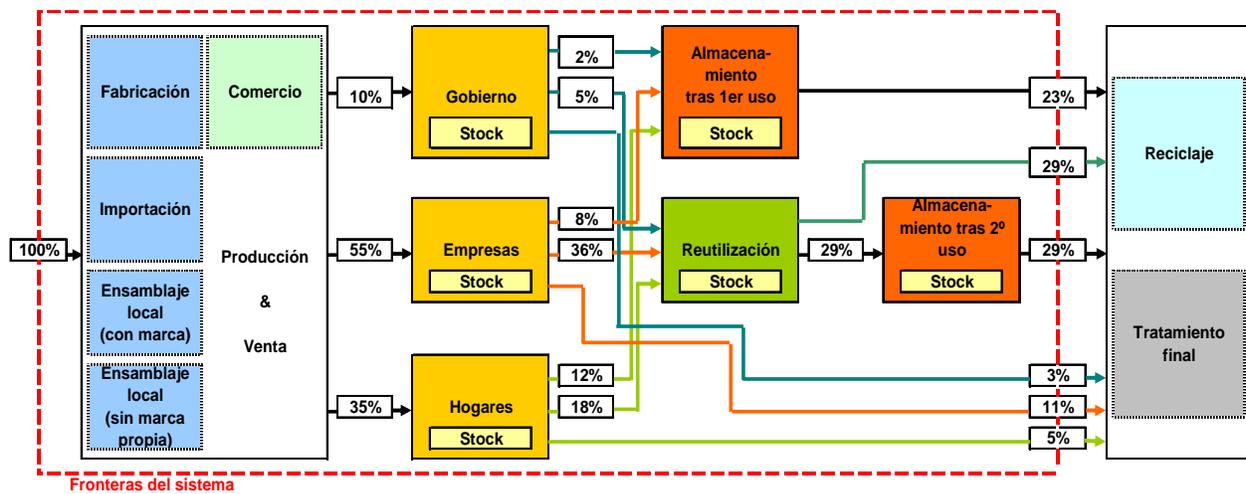


Figura 1. Modelo de análisis de flujo de materiales que muestra la importancia de los flujos en el mercado.

### La generación de residuos electrónicos de computadores

La cantidad de residuos-e de computadores se incrementará en un 10 por ciento durante la próxima década, dos veces más rápido que los residuos domésticos gestionados por las municipalidades. Tal como muestra el modelo de predicción, más de 300 mil equipos de escritorio y computadores portátiles se convertirán en residuos-e el año 2007. Aún más, esto aumentará considerablemente hasta alcanzar 1,7 millones de computadores obsoletos anuales en 2020. En términos de peso —debido a la evolución de la tecnología hacia equipos más livianos— la cantidad de residuos-e de computadores solo se triplicará de 7 mil toneladas en 2007 a 20 mil en 2020 (véase Figura 2). Del total de residuos-e de computadores que se habrá producido durante el período de simulación 1994–2020, únicamente alrededor de 10 por ciento ha sido generado en la primera mitad del período (hasta 2006), mientras el 90 por ciento restante lo será en la segunda mitad (2007–2020).

Lo anterior corresponde a alrededor de 215 mil toneladas de residuos-e de computadores, que contienen 2 toneladas de arsénico (suficiente para contaminar 225 millones de litros de agua potable; véase WHO 1993), 3 toneladas de mercurio, y casi 10 mil toneladas de plomo. No es necesario recordar que estos agentes contaminantes significan una grave amenaza a la salud pública y ambiental si no son tratados adecuadamente. Al mismo tiempo, varios cientos de millones de dólares en metales como aluminio, zinc, cobre y metales preciosos se perderán si esos materiales no se recuperan.

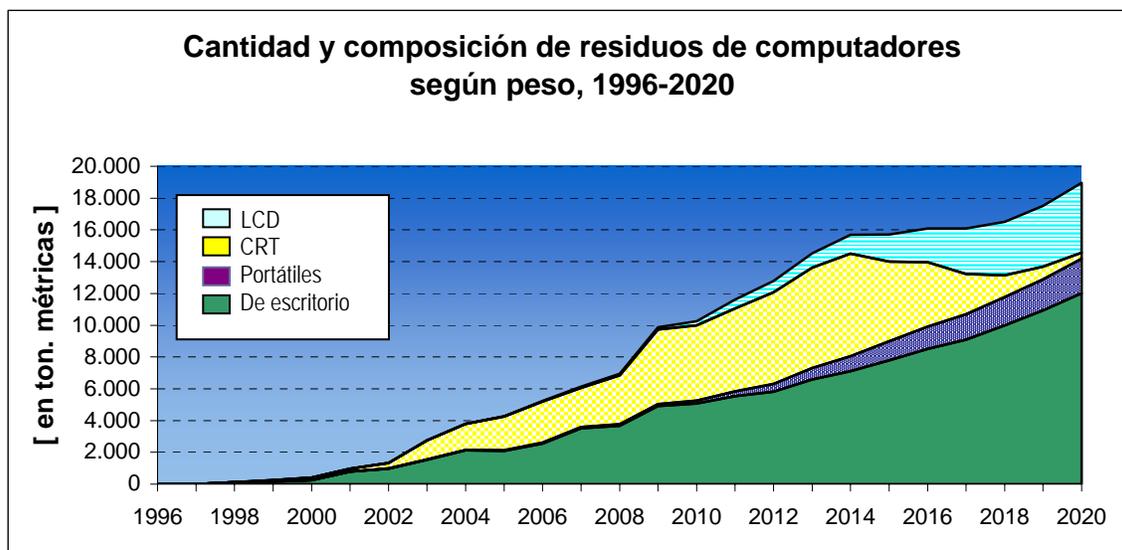


Figura 2. Generación de residuos de computadores según su peso, 1996–2020.

### Gestión de residuos

Aun cuando la gestión de residuos, en general, ha mejorado durante la década pasada, el problema de los residuos-e de computadores todavía no ha sido asumido por las autoridades responsables. De hecho, el destino de la mayoría de estos residuos es desconocido. Debido al valor de los materiales presentes en los desechos electrónicos de los computadores, es muy probable que una fracción importante ya esté siendo recuperada. Al mismo tiempo, es posible suponer que las sustancias peligrosas no están recibiendo un tratamiento adecuado. Actualmente, el principal camino para los RAEE domésticos es la recolección municipal de residuos sólidos (RMR).

Un aspecto favorable es el reciente establecimiento de las primeras compañías de reciclaje formales con estándares adecuados y autorizaciones ambientales, aunque una mirada más detenida revela que la diferencia entre el reciclaje informal y el formal sigue siendo muy pequeña. Entretanto, la enorme diferencia en el costo del reciclaje entre los sectores formales y los informales exige un análisis de costos detallado, a fin de determinar un precio que asegure el reciclaje apropiado, pero que siga siendo competitivo y, por tanto, atractivo para el reciclador. Durante el año 2007, entre 1,5 y 3 por ciento de los residuos generados por computadores será reciclado por estas organizaciones.

Una alternativa social y ambientalmente responsable de reciclaje para los equipos computacionales aún utilizables es la que ofrece Todo Chilenter, una organización sin fines de lucro que reacondiciona los computadores donados por instituciones públicas y privadas.

### Conclusiones y recomendaciones

En primer lugar, se requieren mayores investigaciones para acotar con precisión temas como el destino real de los RAEE y sus potenciales efectos ambientales.

Se debe encontrar la fórmula para gestionar adecuadamente las importantes cantidades de RAEE domésticos que están llegando a los vertederos municipales de residuos sólidos. La educación

medioambiental y la instalación de una infraestructura de reciclaje conveniente desempeñarán un papel clave en el logro de mejores cuotas de reciclaje.

Sin embargo, la medida fundamental para la adecuada gestión de RAEE en Chile es la introducción de un marco legislativo que trate específicamente de residuos-e. Este marco debe definir el tratamiento apropiado de los RAEE e incorporar el concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). La industria de TIC y las Organizaciones de Responsabilidad del Productor (ORP) —por ejemplo, la Asociación Chilena de Empresas de Tecnología de Información (ACTI)— deberán asumir su cuota de responsabilidad, participando activamente en este proceso.

No obstante lo anterior, debido a la estructura del mercado chileno de TIC, lo señalado no es una tarea fácil. Será necesario contar con ideas innovadoras para instalar la REP en un mercado con una enorme cantidad de ensambladores locales no-calificados y con un flujo significativo de computadores que son reutilizados y reacondicionados.

Además del empresariado, otros actores sociales y públicos —como la Subsecretaría de Telecomunicaciones y las instituciones involucradas en la Agenda Digital— también deberán tener una participación activa en la solución del problema de los residuos-e. Después de todo, el desarrollo sostenible en la era de la información solo es posible si los equipos obsoletos de las TIC se gestionan responsablemente.

# 1 INTRODUCCIÓN

---

Chile todavía está entre los países en vías de desarrollo, según lo califica la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), al situarlo en su lista de receptores de Ayuda Oficial al Desarrollo (OECD 2007). No obstante, su economía ha experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas y también se encuentra entre los países de América Latina con más rápida expansión de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC). Con la creciente prosperidad de esa industria y el acceso de cada vez más personas a sus ofertas, también aumentarán exponencialmente las cantidades de residuos electrónicos (RE).<sup>1</sup> A fin de asegurar un desarrollo sostenible de las TIC, pronto Chile deberá establecer una infraestructura adecuada para la gestión correcta de los crecientes flujos de tales materiales.

La definición de estrategias que a futuro se aplicarán para la gestión de RE requiere una mirada más precisa de la cantidad que actualmente se genera en Chile y de los que se producirán más adelante. En esta tesis de maestría se ha elaborado un modelo de flujo de materiales aplicable a los desechos electrónicos, para comprender mejor su circulación y poder hacer predicciones cuantitativas al respecto. Dado su uso amplio e intensivo, se ha elegido los equipos computacionales como sistema indicador para determinar la existencia de un conjunto importante de RE.

## 1.1 OBJETIVOS DE ESTE ESTUDIO

Este estudio se basa en dos objetivos principales:

- 1) *Elaborar un análisis situacional respecto de la generación y gestión de RE en Chile.* Se describirá a los principales actores que comparten algún grado de responsabilidad en el destino de equipos computacionales obsoletos. El conocimiento acerca de la forma en que los distintos actores están involucrados en el ciclo de vida de un computador dilucidará, en alguna medida, el punto relativo a cómo enfrentar el problema de los RE en Chile.
- 2) *Estimar las cantidades actuales y futuras de residuos de computadores en Chile.* Una estimación de las cantidades futuras de desechos de computadores basada en un análisis de flujo de materiales creará conciencia en torno al problema de los RE. Más aún, creará una base para la discusión, dado que hoy en día no se dispone de información al respecto. A futuro, puede ser conveniente pensar sobre la infraestructura necesaria para enfrentar adecuadamente el problema de los RE.

## 1.2 DEFINICIÓN DE RESIDUOS DE COMPUTADORES

Los residuos de computadores representan una parte importante de la cantidad total de RE, y su participación aumenta rápidamente. Por tal razón, se lo considerará un sistema indicador de RE en el análisis de flujo de materiales.

---

<sup>1</sup> Según definición de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, se entiende por residuo—e “cualquier dispositivo que, utilizando un suministro de energía eléctrica, ha alcanzado el fin de su vida útil” (OECD 2001).

En este estudio, se incluye entre los equipos computacionales los siguientes:

- Computadores de escritorio.
- Computadores portátiles.
- Monitores de tubo de rayos catódicos (CRT)
- Pantallas de cristal líquido (LCD) o planas.

Se ha optado por investigar estos cuatro productos de manera separada (en vez de hablar simplemente de “computadores”) por dos razones principales:

- 1) El peso y la composición de computadores de escritorio, portátiles, CRT y LCD difiere significativamente (por ejemplo, un computador de escritorio con un monitor CRT pesa 27 kg; un portátil, 3 kg; un monitor CRT contiene plomo, pero no se lo encuentra en los LCD).
- 2) La fracción de equipos vendidos no es constante (por ejemplo, actualmente los LCD están reemplazando a los CRT, y es creciente la penetración de los computadores portátiles).

Una consecuencia de los análisis separados es que se puede realizar predicciones más exactas en términos de peso y composición de las futuras cantidades de residuos de equipos computacionales.

Se ha excluido de este análisis los dispositivos computacionales adicionales, como —por ejemplo— ratones y teclados.

### 1.3 INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN ESTE ESTUDIO

Las instituciones involucradas en este estudio son:

- *EPFL*. Este estudio corresponde a una tesis de maestría en Ciencias y Tecnología Medioambiental en el Instituto Federal Suizo de Tecnología, Lausana.
- *EMPA*. El Instituto Federal Suizo de Investigación y Prueba de Materiales y Tecnologías (EMPA) es el organismo oficial de control del sistema SWICO de reciclaje de RE en Suiza. EMPA mantiene un programa sin fines de lucro orientado a desarrollar el reciclaje de RE en diversos países del mundo, y ha elaborado una “guía de RE” disponible en Internet (<http://ewasteguide.info/>). Las actividades internacionales de EMPA son financiadas por SECO, la Secretaría de Estado para los Asuntos Económicos de Suiza.
- *SUR Corporación / IDRC*. SUR Corporación de Estudios Sociales y Educación, de Santiago de Chile, es la institución contraparte de EMPA en América Latina. SUR investiga la situación relativa a los residuos de PC en el ámbito chileno y latinoamericano, con el apoyo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC), de Canadá.<sup>2</sup> Parte de la investigación y recopilación de información para este estudio se hizo en Chile, con el apoyo de la Corporación SUR.

---

<sup>2</sup> Véase las páginas web de IDRC (<http://www.idrc.ca/>), Corporación SUR (<http://www.sitiosur.cl/>) y Plataforma Regional sobre Residuos Electrónicos de PC en Latinoamérica y el Caribe (<http://www.rrrtic.net/>).

## 2 ANÁLISIS SITUACIONAL

### 2.1 USO DE TIC EN CHILE

Desde la década de los ochenta la economía chilena ha experimentado un crecimiento constante, con un promedio de 6 por ciento anual después de 2000. Desde la crisis económica en Argentina, el PIB de Chile ha sido el más alto de los países latinoamericanos, por encima de los 9 mil dólares. Consecuencia de ello es que el desarrollo del uso de tecnologías de la información en Chile sea el más alto de Latinoamérica y el Caribe (LAC).

De acuerdo con el Indicador de la Sociedad de la Información (ISI 2006), la tasa de penetración de computadores fue de 201 por cada mil habitantes a fines de 2006, el más alto a escala regional. Para 2007 se estima que crecerá 26 por ciento, para llegar a 250 computadores por cada mil chilenos. El promedio latinoamericano en 2006 era de 161 computadores por cada mil personas. Igualmente alta era la tasa de usuarios de internet: 29,4 por ciento de la población la utilizaba regularmente, cifra que también indica la tasa más alta en una comparación regional. En cuanto a conexión a banda ancha (DSL, cable, etc.), Chile está aún más avanzado que sus vecinos. El año 2006 había más de un millón de conexiones a banda ancha, es decir, 6,8 conexiones por cada cien habitantes. No obstante, persiste una importante brecha en el uso de tecnologías de la información si se lo compara con Europa y Estados Unidos. Tan solo en el uso de teléfonos móviles Chile ha alcanzado el nivel de uso de Estados Unidos: 78 de cada 100 personas actualmente los utilizan. Véase Tabla 2-1 para una comparación del uso de TIC en Chile con otras partes del mundo.

Tabla 2-1  
Indicadores de desarrollo de TIC en Chile y otros países en 2006

	CHILE	LAC	SUIZA	ESTADOS UNIDOS	MUNDO
Computadores por cada 100 habitantes	20,1	16,1	86*	76,2*	19,8
Conexiones a banda ancha por cada 100 habitantes	6,8	3,0	26,2*	19,2	5,7
Teléfonos móviles por cada 100 habitantes	77,7	53	92*	77,22	45,3

Fuentes: Worldbank (2007, 2005).

#### 2.1.1 La Agenda Digital

La Agenda Digital de Chile es resultado del Grupo de Acción Digital,<sup>3</sup> dirigido y apoyado por el coordinador de TIC del gobierno chileno y por diversas instituciones privadas, públicas y académicas. En 2004 presentó un plan a la Presidencia de la República, consistente en 34 acciones dirigidas a promover

<sup>3</sup> El Grupo de Acción Digital es el nombre con que se bautizó en abril del año 2003 a la mesa de trabajo presidida por el Subsecretario de Economía y Coordinador Gubernamental de Tecnologías de Información, Álvaro Díaz. En ella convergen todos los sectores que están a la cabeza del desarrollo de la economía digital en Chile. Durante el año 2003 el Grupo de Acción Digital confeccionó la Agenda Digital 2004–2006, para lo cual conformó seis grupos de trabajo, uno por cada ámbito. A saber: Masificación del Acceso, Educación y Capacitación, Estado en Línea, Desarrollo Digital de las Empresas, Desarrollo de la Industria TIC, y Marco Jurídico. En los seis grupos de trabajo, que sesionaron desde abril a diciembre de 2003, trabajaron más de 170 directivos públicos y privados, así como expertos y académicos. <http://www.economia.cl/aws00/servlet/aawsconver?2,faq,115022> ([N. de T.]

el desarrollo de Chile a través de los avances en Internet y Tecnologías de la Comunicación. Entre las medidas concretas están, por ejemplo, algunas dirigidas a aumentar el acceso a Internet de la población a través de los llamados Infocentros, la educación y programas de capacitación, y el desarrollo digital de las empresas nacionales.

Aunque en su agenda no se menciona explícitamente los RE, es obvio que un desarrollo sostenible de las TIC en Chile no puede ignorar el tema de la gestión responsable de los productos TIC obsoletos.

## 2.2 LA INDUSTRIA COMPUTACIONAL

### 2.2.1 Características generales

En Chile no existe una industria dedicada a la fabricación completa de computadores, más allá de la producción de algunos componentes menores (como suministros eléctricos); en estas circunstancias, el término “productores” utilizado aquí remite a empresas que importan equipo computacional. Los computadores se importan ya sea en partes que luego son ensambladas, o completos (listos para la venta). En la siguiente tabla se detallan las participaciones en el mercado de los principales importadores y ensambladores de equipos computacionales.

Tabla 2-2  
Productores de equipo computacional en Chile y  
participación en el mercado, 2006

EMPRESA	PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO (APROX.) (EN PORCENTAJES)
Olidata	25
Hewlett Packard	15
Packard Bell NEC	10
Dell	5
Lenovo	5
Acer	5
Toshiba	5
Sony	3
Apple	2
Ensambladores locales	25

Fuente: Información entregada por un productor.

Las cifras indican que las empresas internacionales dominan el mercado computacional chileno, con una participación de más de 75 por ciento. Los tres productores más importantes en el país —Olidata, Hewlett Packard y Packard Bell NEC— controlan más de 50 por ciento del mercado.

La Tabla 2–2 también ilustra la importancia del ensamblaje local de equipos sin marca propia, los llamados “clones”. El año 2006, cerca de un cuarto de los computadores vendidos (nuevos) estuvo integrado por clones, ensamblados localmente con partes importadas. Los sitios que venden localmente computadores ensamblados sin marca propia van desde pequeñas tiendas a grandes cadenas comerciales de alcance nacional, y a menudo ofrecen al mismo tiempo equipos nuevos y reacondicionados.

La Tabla 2–3 contiene una estimación aproximada de los porcentajes de importaciones de computadores completos (listos para la venta), equipos con marca ensamblados localmente, y equipos sin marca propia ensamblados localmente.

Tabla 2-3  
Computadores importados, con marca ensamblados localmente, y sin marca propia ensamblados localmente, 2006

TIPOS DE COMPUTADORES	PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO
Importaciones de computadores completos (listos para la venta): HP, Dell, Lenovo, Acer, Toshiba, Sony, Apple	42%
Equipos con marca ensamblados localmente: Olidata, Packard Bell NEC	35%
Equipos sin marca propia ensamblados localmente: otros ensambladores locales	23%

Fuente: Información de International Data Corporation (IDC) distribuida en categorías con base en información encontrada en las páginas web de las empresas.

### 2.2.2 Ventas de computadores

El mercado de computadores ha explotado en Chile en los últimos años, con tasas de crecimiento de 23 por ciento en 2005 y 35 por ciento en 2006. En 2006 se vendieron más de 800 mil computadores, y para 2007 se esperaban ventas superiores a los 900 mil. La información relativa a las cantidades de ventas e importaciones de equipos computacionales (aparatos de escritorio, portátiles, CRT y LCD) proviene de publicaciones basadas en datos de International Data Corporation (IDC) (CNC 2004), artículos de Internet (Chiletech 2007) y la base de datos en línea del Servicio Nacional de Aduanas de Chile, Estacomex (Aduana 2007). Véase la Figura 2–1 para información detallada sobre la cantidad y tipo de equipo computacional vendido entre 1996 y 2006.

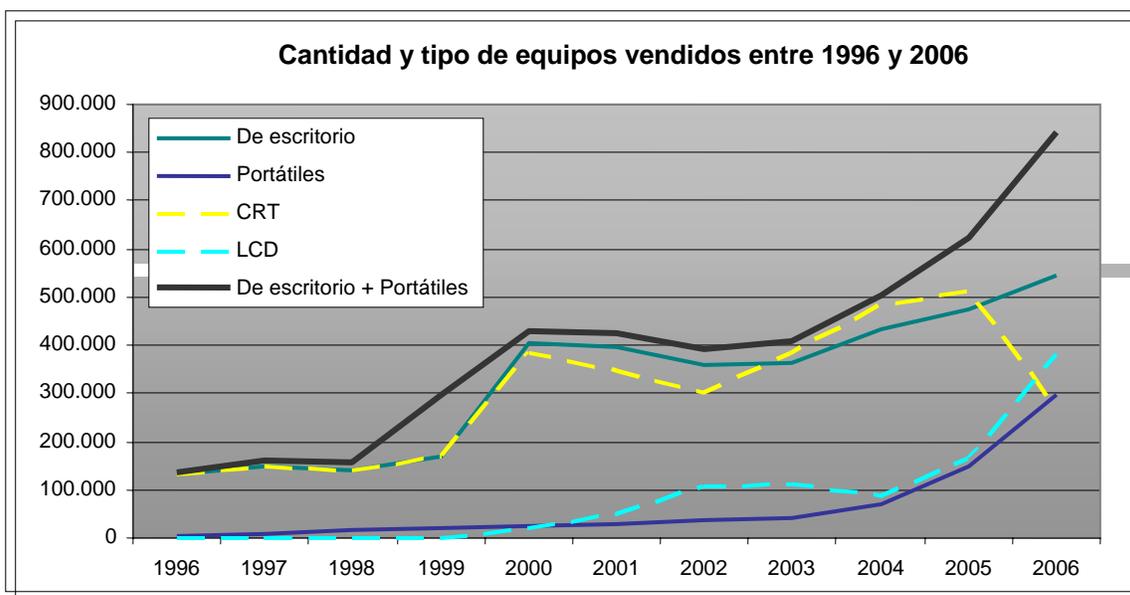


Figura 2-1 Venta de computadores en Chile desde 1996 a 2007

Fuentes: Computadores de escritorio y portátiles, información de IDC; CRT y LCD, información de IDC y base de datos de Aduanas de Chile.

La Figura 2–1 muestra claramente que en el mercado computacional actual están teniendo lugar dos cambios tecnológicos importantes:

- 1) Un cambio desde el uso de monitores CRT a pantallas planas LCD.
- 2) Un fuerte aumento en la participación de los computadores portátiles en el mercado (de todos los computadores vendidos en Chile en 2006, 35 por ciento fue de equipos portátiles).

Como consecuencia, la composición y peso de los residuos de computadores también cambiará en los próximos años.

### 2.2.3 Responsabilidad extendida del productor

La OCDE define la responsabilidad extendida del productor (REP) como “un enfoque de política ambiental según el cual la responsabilidad del productor por un producto se extiende hasta la etapa de pos-consumo en el ciclo de vida de sus productos” (OECD 2001).

Hay dos aspectos relacionados en la política REP:

- 1) Traspaso de la responsabilidad desde las municipalidades al productor; y
- 2) Creación de incentivos dirigidos a los productores, para que incorporen consideraciones ambientales en el diseño de sus productos.

Los beneficios de introducir la responsabilidad extendida del productor pueden ser, así, que los fabricantes:

- utilicen materiales más seguros ambientalmente en el proceso de producción;
- consuman menos materiales en el proceso de producción;
- diseñen el producto para que dure más y sea más útil;

- creen sistemas de reciclaje más seguros;
- mantengan bajos los costos de los residuos;
- dejen de traspasar los costos del manejo final de los residuos al gobierno y a los contribuyentes.

En Chile, los productores de computadores todavía no han implementado la responsabilidad extendida del productor, a pesar de que los productores importantes ya han tenido experiencias con ella en otras partes del mundo (por ejemplo, en Europa). A través de entrevistas personales con los principales productores de computadores<sup>4</sup> se han detectado los principales motivos para esta falta de iniciativa empresarial:

- Falta de conciencia sobre el problema en general.
- Falta de reconocimiento de responsabilidad de parte de la industria misma.
- Ausencia de verdaderas alternativas de reciclaje en Chile (solo desensamblaje).
- Dificultad para convencer a todos los productores de que participen en REP (debido a la existencia de mercado informal y ensamblaje local de equipos sin marca propia).
- Temor a perder si se arriesgan en iniciativas por su cuenta, como la introducción de un pago adelantado por reciclaje.
- Heterogeneidad de las políticas internacionales de los grandes productores.
- Falta de legislación que obligue a (todos) los productores a introducir REP.

#### **2.2.4 El papel potencial de ACTI**

Cuando se introduce la responsabilidad del productor, organizaciones paraguas, llamadas Organizaciones de Responsabilidad del Productor (PRO, por sus siglas en inglés), que agrupan a los productores e importadores más importantes, han resultado ser los organismos más adecuados para la implementación y coordinación del proceso. Como la Asociación Chilena de Empresas de Tecnología de Información (ACTI, [www.acti.cl](http://www.acti.cl)) agrupa a los principales productores e importadores de infraestructura de TIC, es un actor ideal para la coordinación de iniciativas de los productores de equipos electrónicos. Podría, así, desempeñar un papel activo en la creación de un sistema de reciclaje de RE en Chile.

### **2.3 CONSUMIDORES DE TIC: GOBIERNO, EMPRESAS, HOGARES**

En este estudio se ha dividido a los consumidores en tres grandes grupos: instituciones gubernamentales, empresas y hogares.

Debido a su naturaleza, el comportamiento de esos grupos en tanto consumidores —cómo compran, gestionan y se deshacen de los equipos computacionales— difiere de manera importante. Y si el objetivo es dar buenas soluciones al problema de los RE, es fundamental comprender esos comportamientos.

#### **2.3.1 Consumo de computadores**

Para dar una idea general de la importancia relativa de los consumidores en el consumo de computadores, se recurrió a información de IDC sobre el periodo 1999–2004, que muestra lo siguiente:

---

<sup>4</sup> Las entrevistas personales se realizaron con representantes en Chile de Hewlett Packard, IBM y Olidata.

en promedio, 55 por ciento de todos los computadores se vendió a empresas, 35 por ciento a hogares y 10 por ciento al gobierno<sup>5</sup> (CNC 2004) (véase Figura 2-2).

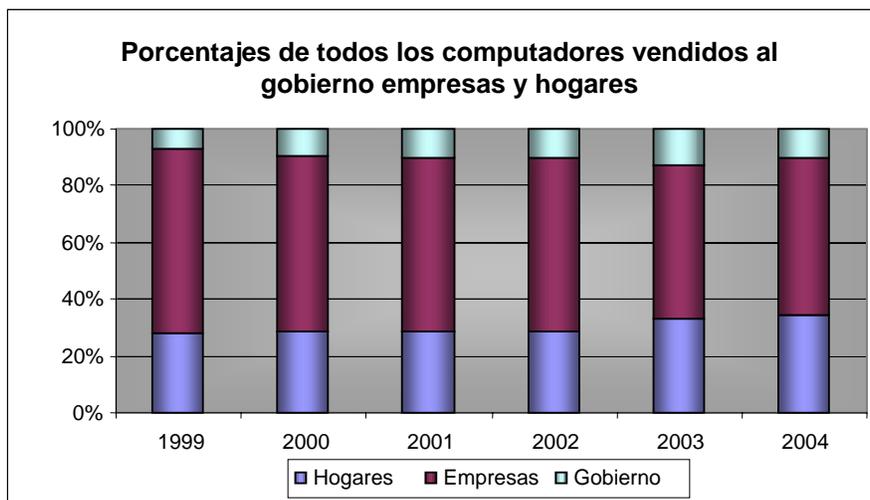


Figura 2-2 Porcentajes de todos los computadores vendidos al gobierno, empresas y hogares  
Fuente: IDC.

De acuerdo con el mismo estudio, un tercio de los computadores vendidos a empresas lo fue a grandes compañías, y dos tercios a compañías pequeñas.

### 2.3.2 Tipos de equipos computacionales en uso

El cuestionario utilizado en este estudio mostró que en las instituciones gubernamentales, las empresas y los hogares, los equipos computacionales en uso se distribuían según los siguientes porcentajes:

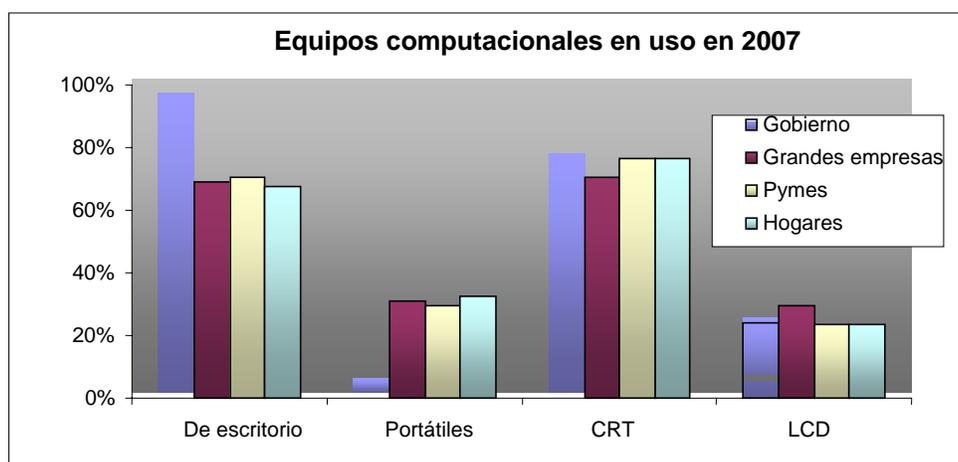


Figura 2-3 Tipos de equipos computacionales en uso en 2007  
Fuente: Cuestionarios.

<sup>5</sup> Esta estimación incluía gobierno y escuelas, que en este estudio fueron incluidas en la participación del gobierno.

Puede verse que, en general, cerca de 70 por ciento de los computadores son equipos de escritorio y 30 por ciento son portátiles, mientras aproximadamente 80 por ciento de los monitores son CRT y 20 por ciento son LCD. Los porcentajes de las instituciones gubernamentales y de los hogares parecen ser poco representativos, debido al pequeño tamaño de la muestra en el cuestionario.

### 2.3.3 Compra de equipos nuevos

Los equipos computacionales nuevos fueron comprados ya sea vía importaciones (es decir, directamente a la compañía que los importa, esto es, HP o Dell), en el comercio, o como aparatos ensamblados localmente, con o sin marca propia.

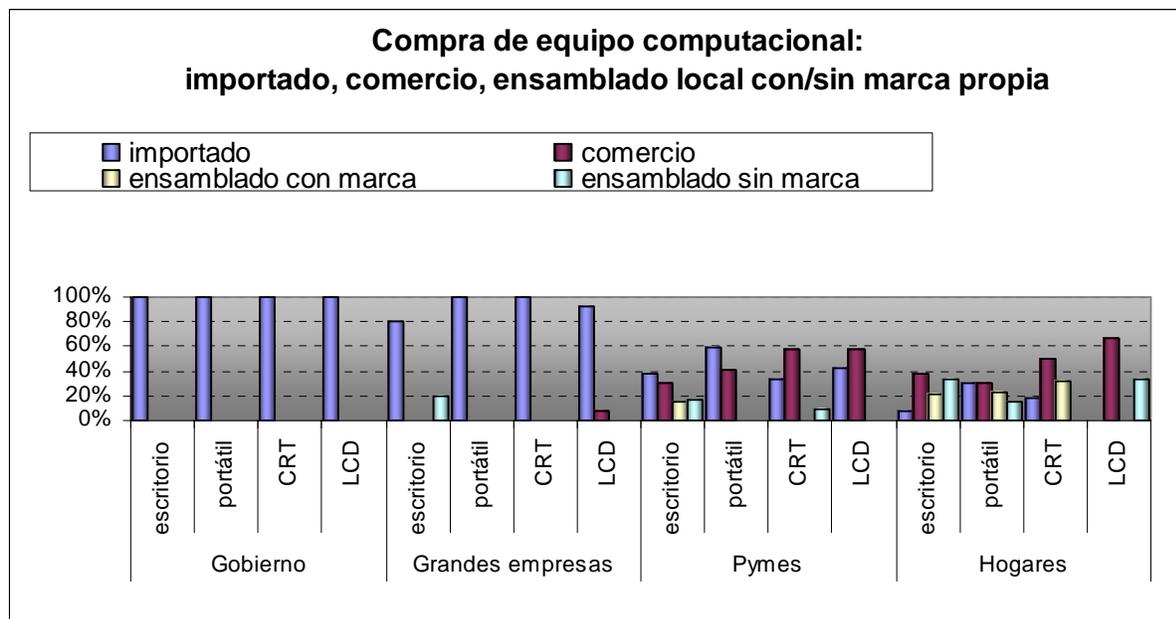


Figura 2-4 Compra de equipos computacionales  
Fuente: Cuestionario.

Como puede suponerse, el gobierno y las grandes empresas por lo general compran directamente a importadores. Dadas las cantidades en que lo hacen, las grandes empresas suelen tener contratos especiales con algunos productores de computadores. Las instituciones gubernamentales adquieren sus equipos a través de licitaciones realizadas mediante un intermediario en línea, ChileCompra (<http://www.chilecompra.cl/>).

Las empresas pequeñas les compran tanto a los importadores como al comercio minorista. Las entrevistas a expertos mostraron que un alto porcentaje de computadores se compra a ensambladores locales que arman equipos sin marca propia, dado que a menudo ofrecen un mejor servicio y mejores opciones en la compra de componentes individuales de los equipos.

La compra de computadores para los hogares se hace principalmente en el comercio, aunque las otras opciones también desempeñan un papel importante.

### 2.3.4 Adquisición de equipos: nuevos, usados (2º uso) o *leasing*

En la Figura 2–5 se puede observar que las instituciones gubernamentales y las grandes empresas compraron principalmente equipos nuevos. El *leasing* también desempeña un papel importante. Las entrevistas personales mostraron que es probable que el porcentaje de equipamiento arrendado bajo la figura del *leasing* aumente en los próximos años. Una de las dos instituciones gubernamentales entrevistadas declaró que en el futuro adquirirán todos sus equipos mediante *leasing*.

Las empresas pequeñas y los hogares compraban principalmente equipos nuevos, aunque los usados también alcanzan una cifra importante (hasta 40 por ciento en los hogares).

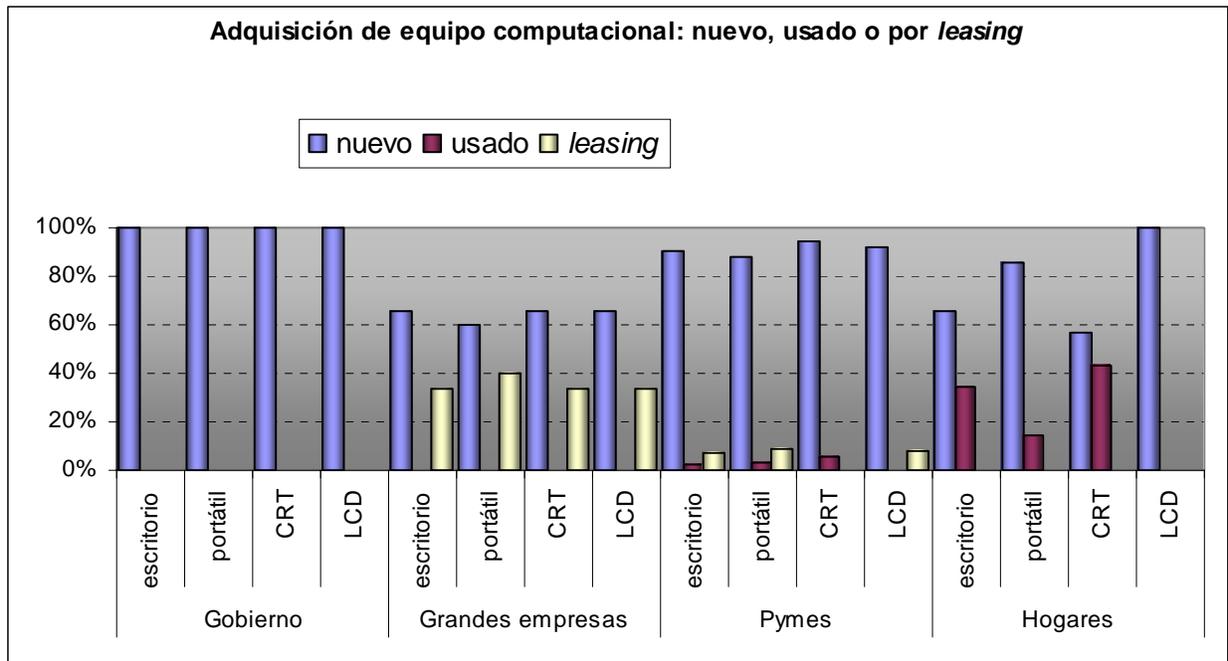


Figura 2–5 Adquisición de equipo computacional (nuevo, usado o por *leasing*)

Fuente: Cuestionario.

### 2.3.5 Tiempos de uso

El gráfico siguiente sintetiza el tiempo de uso promedio de equipos computacionales nuevos, arrendados en la modalidad *leasing* y usados, en instituciones gubernamentales, empresas y hogares.

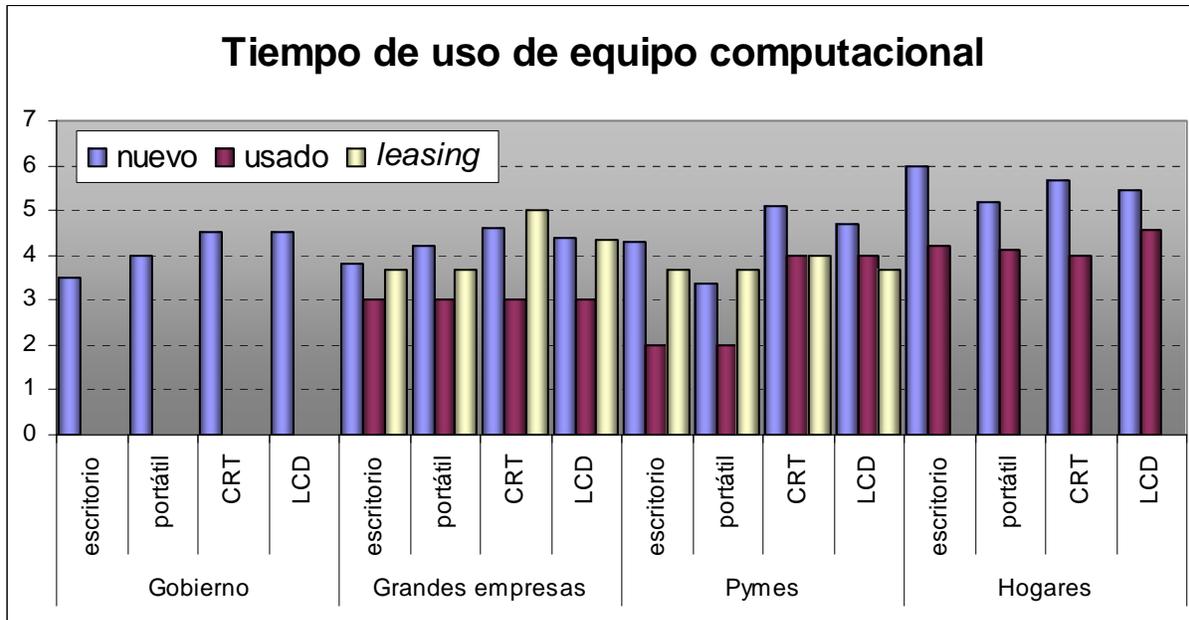


Figura 2-6 Tiempo de uso de equipo computacional

Fuente: Cuestionario

Los computadores nuevos se usan, entonces, alrededor de cuatro años en las instituciones gubernamentales y empresas, y entre cinco y seis años en los hogares. Se tiende a usar los monitores hasta un año más. Los contratos de *leasing* para equipos computacionales varían entre tres y cuatro años.

Además de lo anterior, los resultados indican que el tiempo de uso de equipos reutilizados (y reacondicionados) es principalmente de tres a cuatro años.

### 2.3.6 Destino de equipos computacionales obsoletos

En el gráfico siguiente se ha consolidado los resultados relativos al destino de equipos computacionales obsoletos en el ámbito de las instituciones gubernamentales, empresas y hogares:<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Las opciones del cuestionario eran: almacenamiento, venta, donación, tratamiento final, reciclaje y otro. Se consolidó como "reutilización" las alternativas "venta", "donación" y "otro". "Reciclaje" y "tratamiento final" se consolidaron como "reciclaje / tratamiento final". La razón principal tras esta consolidación fue que cuando se indicaba "otro", en la mayoría de los casos se refería a "reutilización". Se debió integrar "reciclaje" en "reciclaje / tratamiento final" dado que, cuando se indicaba "reciclaje", en la práctica a menudo significaba tratamiento final. Véase Anexo C para los resultados detallados.

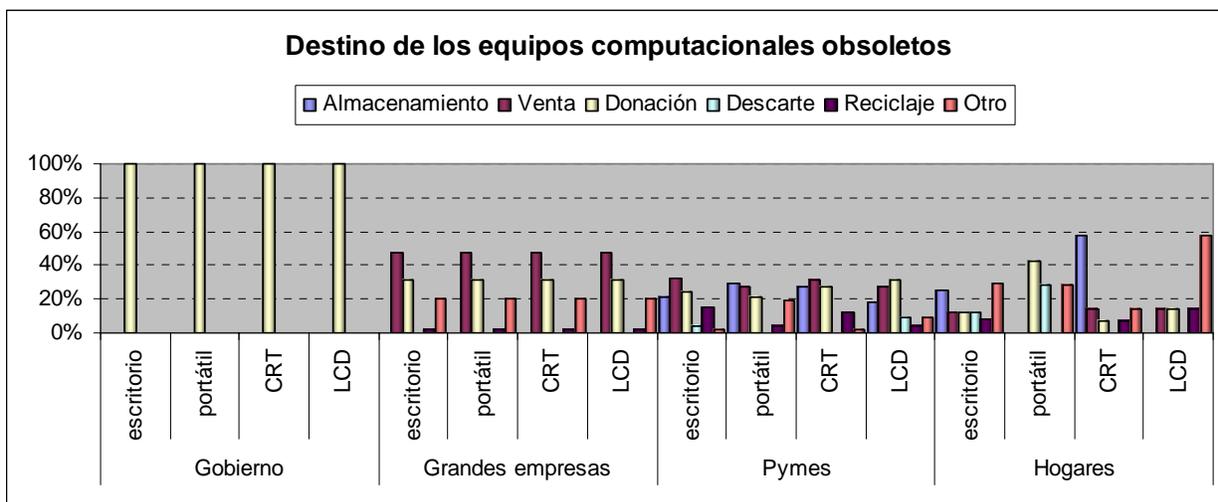


Figura 2-7 Destino de equipos computacionales obsoletos

Fuente: Cuestionario.

Se observa que la reutilización es, con gran ventaja, la opción dominante para los equipos computacionales obsoletos. En el caso del gobierno, en una gran mayoría fueron donados a un programa que recibe apoyo estatal (la Fundación Todo Chilenter), o a escuelas. Los equipos de las grandes empresas por lo general son vendidos en remates. Ni las instituciones gubernamentales ni las grandes empresas almacenaban cantidades importantes de computadores. No obstante, el almacenamiento surgió como una opción importante en las empresas pequeñas y en los hogares. El tratamiento final (y reciclaje) solo aparecieron en estos dos últimos entornos.

## 2.4 REUTILIZACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE COMPUTADORES

### 2.4.1 En general

Como Chile forma parte del mundo en desarrollo y presenta fuertes desigualdades de ingreso al interior de la sociedad, los equipos computacionales usados y obsoletos por lo general no se consideran “basura”. Por ejemplo, un computador obsoleto puede ser considerado desechable por alguien con un salario relativamente bueno, pero es considerado un objeto valioso por quien recibe un salario bajo. Como consecuencia, existe un mercado bastante desarrollado (formal e informal) de equipos computacionales obsoletos, y una parte importante de los computadores tiene en el país un segundo tiempo de uso (segundo uso).

El segundo tiempo de uso puede implicar un proceso de reacondicionamiento, en el cual algunas partes del computador son reemplazadas por otras más modernas; por ejemplo, se le agrega memoria, se le instalan procesadores más rápidos o se cambia el disco duro por uno de mayor capacidad. El reacondicionamiento también puede incluir la instalación de una versión más moderna del sistema operativo (*upgrade*) o la actualización (*update*) de la existente, y el cambio del hardware periférico, como teclado y ratón. Solo un pequeño flujo de computadores entra en la corriente de desechos tras su primer uso.

Algunos ejemplos comunes de la forma en que un computador puede ser reutilizado (directamente o tras un paso de reacondicionamiento) son:

- Las empresas venden sus computadores usados a sus empleados.
- Las empresas venden sus computadores a negocios que reacondicionan computadores, por lo general en remates.
- Las empresas o instituciones públicas donan sus computadores (por ejemplo, a escuelas o reacondicionadores que trabajan sin fines de lucro).
- Los computadores se traspasan entre miembros de la familia.
- Se da los computadores a un tercero, un amigo, etc.

Los grupos de usuarios más importantes que alimentan el flujo de computadores para su reutilización son las instituciones gubernamentales y las grandes empresas, según puede observarse en la Figura 2-7. No obstante, las empresas pequeñas y los hogares también contribuyen con un porcentaje importante.

La Figura 2-8 resume el itinerario típico de los computadores que son transferidos desde su primer a su segundo uso:

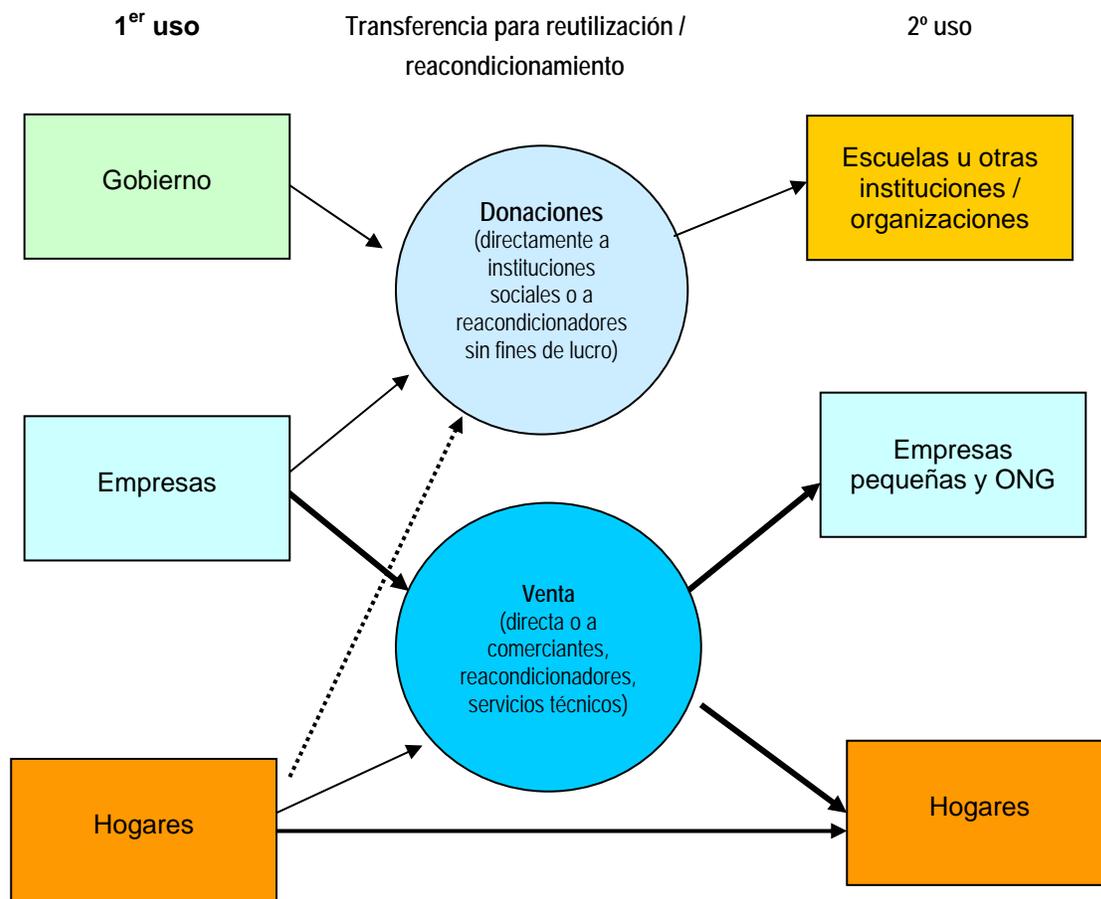


Figura 2-8 Principales flujos de equipos computacionales desde el primer al segundo uso

Se requeriría una amplia investigación para cuantificar con exactitud qué cantidad de equipo computacional es reutilizado por cada grupo usuario, y la Figura 2–5 puede dar una primera impresión. A pesar de ello, el flujo más importante de computadores desde el primer al segundo uso es la venta de hardware obsoleto que hacen las grandes empresas a los comerciantes y reacondicionadores, los que a su vez venden a las empresas pequeñas y hogares para su reutilización.

Además de lo anterior, el primer y el segundo uso también pueden darse con el mismo usuario, por ejemplo, cuando reacondiciona su computador.

El tiempo de uso de equipo computacional obsoleto por lo general es de dos a cuatro años. Véase también Figura 2–6.

#### **2.4.2 Reutilización y reacondicionamiento comercial**

El precio de venta de computadores reacondicionados está en el rango de 30 a 240 dólares.

Generalmente los equipos de menor precio son los provenientes de remates, mientras los mejores suelen ser importados (por ejemplo, de Estados Unidos).<sup>7</sup> El equipo más moderno en existencia en Refly al momento de la investigación era un computador con monitor (CRT, 17 pulgadas), con un procesador 2.5 GHZ, 512 RAM y disco duro de 20GB. Hay monitores desde 20 dólares (CRT) a 140 dólares (LCD).

Los dos puntos más importantes de Santiago para computadores reacondicionados son una concentración de tiendas de computadores en la calle San Diego; y un mercado de fin de semana conocido como Biobío. Se ha investigado estos dos lugares para obtener una imagen más realista de la reutilización y reacondicionamiento comercial en el contexto chileno.

##### **2.4.2.1 San Diego**

###### *Descripción general*

San Diego es un importante centro de TIC y electrónicos, cercano al centro de Santiago. Se estima en cerca de sesenta tiendas las que venden computadores nuevos y usados, partes de computadores, a la vez que ofrecen servicios de reparación (servicio técnico). Por lo general los precios son más bajos que en el comercio detallista, y no suelen ofrecer marcas internacionales. Entre las razones de su popularidad está el hecho de que la gente tiene la posibilidad de pedir un computador ensamblado con componentes de su elección. El área de San Diego tiene mejor reputación que la zona de Biobío, en el sentido de que venden equipos más modernos y de mejor calidad, lo que suele atraer a clientes con presupuestos bajos.

---

<sup>7</sup> Precios obtenidos de Latin Computer Chile Ltda. y Refly ([www.latincomputer.cl](http://www.latincomputer.cl) y [www.refly.cl](http://www.refly.cl)).



Figura 2-9. Negocios de venta de computadores en la zona de San Diego, Santiago

#### *Fuentes de equipos computacionales y tipos*

En entrevistas con varios dueños de tiendas se encontró que alrededor de 60 por ciento de los computadores vendidos son nuevos y 40 por ciento, usados. “Nuevos” significa que el computador ha sido ensamblado a partir de partes nuevas, mientras “usados” significa que el computador ha sido armado al menos en parte con componentes que han tenido un uso previo.

Los equipos nuevos se compran a través de vendedores al por mayor. Los usados, a través de distintos canales, por ejemplo de clientes o en remates. Pareciera haber un mercado para cada parte del computador, con una red dinámica de intermediarios especializados en ciertos componentes. Un gran porcentaje de los computadores que se venden en San Diego, especialmente monitores, es equipo obsoleto importado de Estados Unidos. La principal casa comercial de San Diego, Refly, bastante conocida en Santiago, incluso usa este hecho como propaganda en su local.

#### *Reacondicionamiento y reparación*

La mayoría de los comerciantes de computadores en San Diego también ofrece servicios de reparación y reacondicionamiento a gente cuyos equipos han fallado o que desea actualizarlos. Estos equipos tienen entre dos y cinco años, y se dice que su reacondicionamiento les prolonga la vida útil en cerca de tres años más.

#### *Gestión de residuos*

Muchos de los dueños de locales comerciales confirmaron que casi nada se bota y que en su mayoría los componentes pueden ser reutilizados, reparados, o vendidos por los materiales que contienen. Sin embargo, estos locales sí producen un cierto flujo de residuos, que son apilados en un sitio para estacionamiento de vehículos. Uno de los comerciantes señaló que los residuos se venden a la compañía recicladora Recycla. Otro indicó que se le paga a un camión de vez en cuando para que recoja los residuos. En qué lugar se deshacían de ellos, era algo que se desconocía. Un tercer dueño de negocio estimaba que gran parte de los residuos termina en el vertedero municipal de residuos sólidos. Parte de los residuos simplemente es arrojado a los tarros de basura de las tiendas.

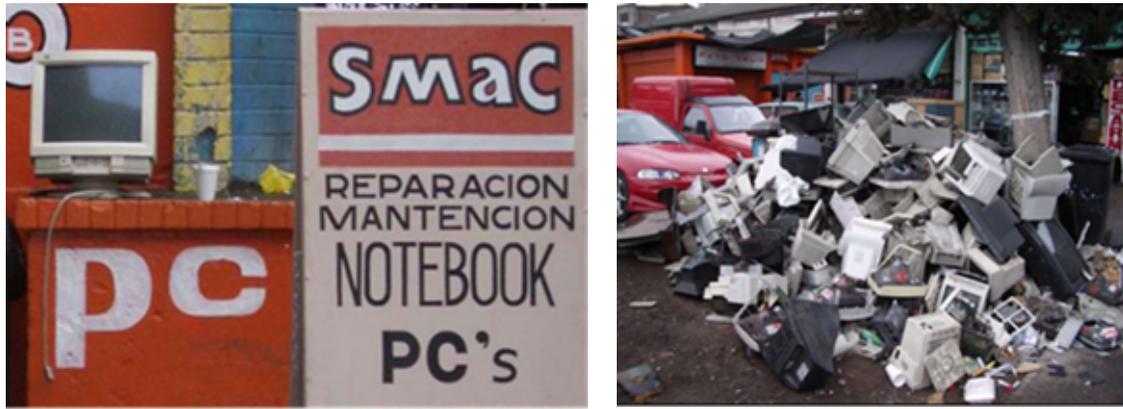


Figura 2-10. Un local de reparaciones y residuos computacionales amontonados en un estacionamiento de San Diego

### 2.4.2.2 Biobío

#### Descripción general

Se conoce como Biobío un barrio de Santiago que rodea la calle del mismo nombre. Es conocido por sus ferias de fin de semana donde se comercia de todo, desde ropas a muebles, incluidos computadores, vendidos por una serie de pequeñas tiendas que se reparten por toda el área. Últimamente también algunas cadenas comerciales de alcance nacional se han instalado allí. Los negocios pequeños solo venden unos pocos computadores diarios, mientras que en los locales pertenecientes a las grandes cadenas las ventas se dan por centenares. Dado que este comercio opera solo los fines de semana, muchos de los propietarios tienen una segunda tienda de computadores en algún otro lugar de la ciudad. Se puede comprar partes de equipos y accesorios al igual que computadores completos reacondicionados, en ocasiones incluso con garantía y software preinstalado.

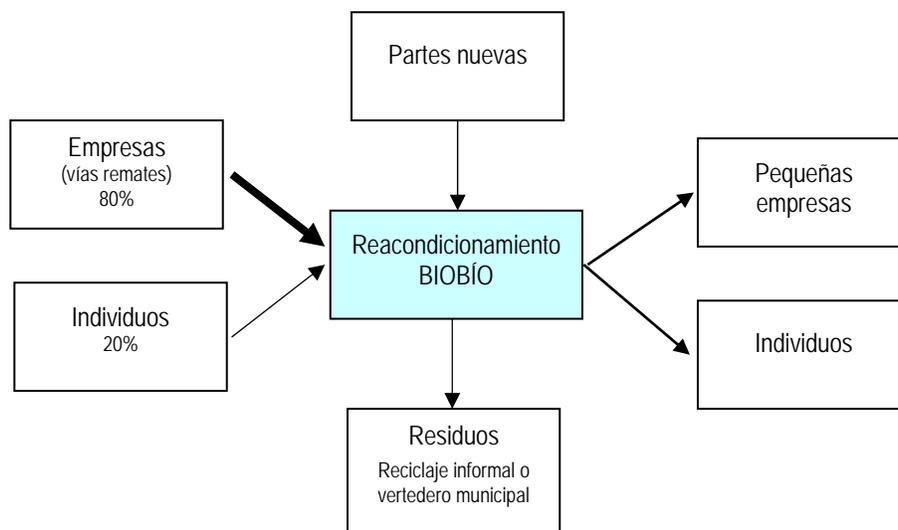


Figura 2-11 Esquema del flujo de computadores en Biobío

### *Orígenes y tipos de computadores*

En entrevistas con distintos vendedores, señalaron que casi todos los computadores provienen de empresas que venden sus equipos en remates, aunque también se compran a individuos. Por lo general tienen entre dos y siete años de vida, con un promedio en torno a los cuatro. En una entrevista en un local mayor perteneciente a una cadena comercial se señaló que los computadores se importaban de Estados Unidos. Existen contactos directos con intermediarios estadounidenses que embarcan contenedores con PC de escritorio y monitores CRT.



Figura 2-12. Tiendas de computadores en el área Biobío de Santiago

### *Reacondicionamiento*

El reacondicionamiento incluye la selección, prueba, reparación y ensamblaje del equipo. La tienda perteneciente a la cadena comercial señaló que el flujo de computadores en su local era lo suficientemente fuerte como para trabajar en producción en serie. En los computadores reacondicionados también se incorporan partes nuevas, especialmente discos duros. También se repara componentes como los tableros de sistema (*motherboards*) y tableros de circuito impreso (PWB, *printed wiring boards*) deteriorados.

### *Gestión de residuos*

La pregunta “¿qué hace usted con sus desechos?” por lo general recibía como respuesta “no hay desechos, todo tiene valor”. Las tiendas pequeñas colocan en la calle las partes de los computadores que están rotas; de allí son recogidas por gente que las recicla, o que recicla los materiales que puede vender (tales como metales: cobre y hierro, o partes, como condensadores, transistores). La tienda perteneciente a la cadena comercial señaló que entregan sus desechos a una persona que recicla informalmente.

### **2.4.3 Donaciones**

Las donaciones provienen principalmente de las instituciones públicas y las grandes empresas. No obstante, los hogares también contribuyen con equipos, por ejemplo al Hogar de Cristo ([www.hogardecristo.com](http://www.hogardecristo.com)) o los Traperos de Emaús ([www.traperosemaus.cl/](http://www.traperosemaus.cl/)).

Las dos más importantes reacondicionadoras, receptoras de cantidades considerables de computadores, son la Fundación Todo Chilenter ([www.chilenter.cl/](http://www.chilenter.cl/)) y el Comité para la Democratización Informática (CDI, [www.cdichile.org/](http://www.cdichile.org/)).

A continuación se presenta la información recabada en una visita a Todo Chilenter.

#### **2.4.3.1 Fundación Todo Chilenter**

Todo Chilenter es la mayor institución reacondicionadora de Chile, y su meta es reacondicionar más de 7 mil computadores en 2007. Esto equivale a cerca de 190 toneladas de equipos o cerca de 2,9 por ciento de la cantidad de residuos de computadores previstos para 2007 (véase figuras 5-1 y 5-2). Estos computadores van a escuelas y organizaciones sociales de todo el país. En 2006, se aprobó más de 200 proyectos de recepción de equipos, casi el doble de los que postularon. En una entrevista con Rubén Martínez Muñoz, director ejecutivo de Todo Chilenter, se obtuvo la siguiente información:

##### *Origen y tipos de computadores*

Todo Chilenter recibe cerca de la mitad de sus equipos desde el exterior (Computer Aid en Inglaterra, e Interconnection en Estados Unidos). La otra mitad es contribución de instituciones públicas y grandes empresas del sector privado. El objetivo a futuro es disminuir el porcentaje de computadores importados.

Las instituciones públicas y las empresas tienen distintos incentivos para realizar donaciones a Chilenter:

- Las instituciones públicas consideran las donaciones una parte de su contribución a la sociedad y al desarrollo del país.
- Las empresas privadas realizan donaciones en el contexto de su responsabilidad social y por razones de imagen.

##### *Aspectos financieros*

Todo Chilenter es financiado por el Ministerio de Educación, que apoya a la fundación con una cantidad fija de dinero al año. Se estima que el costo por computador reacondicionado es alrededor de 130 dólares. Las instituciones que los reciben de Todo Chilenter no pagan nada.

##### *Reacondicionamiento*

El proceso de reacondicionamiento implica los siguientes pasos: selección, configuración y mantenimiento, control y empaquetado. Los pasos clave y costo-intensivos son la selección, control y logística (transporte del equipo a la Fundación). El principal reacondicionamiento es el de equipos recibidos como donaciones, aunque también se compra algunas partes nuevas: es el caso de discos duros, ratones y teclados. Los equipos computacionales se entregan con Windows instalado, dado que Microsoft apoya a la fundación con licencias de Reacondicionador Microsoft Autorizado (MAR, por su sigla en inglés) de 5 dólares. Los equipos también van con garantía.

##### *RE*

Aproximadamente 10 por ciento de los equipos que recibe Todo Chilenter de parte de las grandes empresas y 35 por ciento del proveniente de las pequeñas, no puede ser reacondicionado y, por lo tanto, puede ser considerado RE. Actualmente se envía cerca de 36 toneladas de RE al año a la empresa recicladora Degraf. Pero para abaratar costos (y dado que la industria recicladora en Chile solo desmantela), Todo Chilenter tiene planificado hacerse cargo del desmantelamiento en el futuro. Los componentes peligrosos serán enviados directamente a la empresa Hidronor.

A la fecha, Todo Chilenter no tiene claro qué ocurre con sus computadores cuando llegan al fin de su vida útil. Aún no se ha instalado un sistema de recogida, y probablemente sea difícil hacerlo, dados los costos actuales de reciclaje en Chile.

## 2.5 GESTIÓN DE RESIDUOS

### 2.5.1 Gestión de residuos sólidos en general

De acuerdo con la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), autoridad medioambiental en Chile, actualmente se producen en el país alrededor de 11–12 millones de toneladas de residuos anuales. Más de 50 por ciento de ellos —equivalente a 5.752.100 toneladas anuales— se genera en el Área Metropolitana de Santiago (RM) (Conama 2007). Un análisis de 2007 para la RM estimaba que el porcentaje de residuos más importante en tamaño era el de los residuos sólidos gestionados por las municipalidades (RSM), con 46 por ciento; los materiales de construcción, con 37 por ciento; y los residuos industriales, con 16 por ciento (véase Figura 2–13).

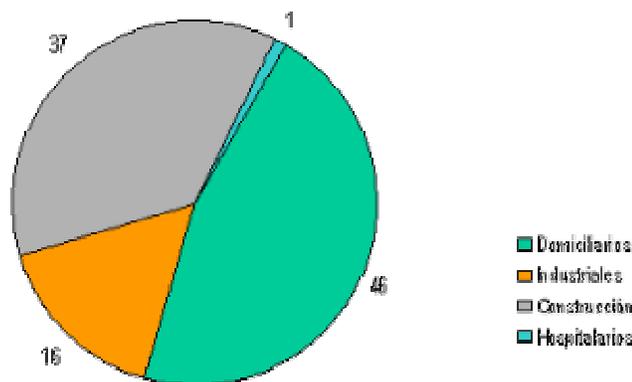


Figura 2–13 Diferentes tipos de residuos generados en Chile

Fuente: Ministerio de Salud ([www.seremisaludrm.cl](http://www.seremisaludrm.cl))

Los primeros esfuerzos sistemáticos para mejorar la gestión de los residuos tuvieron lugar en 1997, con una política orientada a la gestión municipal de los residuos sólidos. Desde 2005, Chile cuenta con una Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

#### 2.5.1.1 Residuos sólidos de gestión municipal

Un estudio de la OCDE estima que los RSM han experimentado en promedio un incremento anual de 5 por ciento desde 1990 a 2004. En el año 2005, en Chile se produjeron alrededor de 380 kg de RMS por persona, equivalente a más o menos 1 kg por persona al día (OECD 2005). Se estima que en el Área Metropolitana esa cantidad sube a 1,63 kg. También se puede encontrar partes de otros residuos en los RSM, tales como baterías, barniz, pintura, aceites usados, medicamentos y residuos electrónicos (GTZ 2006).

La organización de la gestión municipal de residuos es parte de las responsabilidades de la comunidad. Desde hace algún tiempo, las comunidades pueden cobrar por el costo del tratamiento final de residuos.

Sin embargo, solo 35 por ciento de todos los hogares contribuye financieramente, dado que los hogares bajo un cierto avalúo de la propiedad están exentos de ese pago. En promedio, solo 15 por ciento del costo real se cubre con esa contribución. Como consecuencia, es frecuente que los recursos necesarios para un tratamiento adecuado de los residuos sean inexistentes (GTZ 2006).

Un problema adicional es que la legislación no especifica claramente ni los tipos de residuos ni los correspondientes métodos de tratamiento final. Como resultado, la mayoría de las municipalidades no ofrece alternativas para el manejo final de ciertos desechos, como muebles, desperdicios de jardines o RE (GTZ 2006).

Aproximadamente 80 por ciento de las comunidades ha entregado la gestión de RMS a empresas privadas (GTZ 2006).

Como resultado de los esfuerzos de la última década, hoy en día solo cerca de 40 por ciento de la basura municipal termina en sitios no autorizados, conocidos en Chile como “basurales”. La mayor parte, cerca de 60 por ciento, se deposita en lugares autorizados y sujetos a normas medioambientales, denominados “rellenos sanitarios” o “vertederos municipales” (Conama 2007).

### **2.5.1.2 Residuos industriales**

En Chile se produce anualmente más de 2,5 millones de toneladas de residuos industriales. A pesar de los progresos de la última década, se estima que el manejo final de cerca de 60 por ciento de ellos se hace todavía sin control alguno (OECD 2005). Uno de los problemas persistentes es que las empresas chilenas a menudo subcontratan empresas de transporte para el manejo final de sus residuos, sin conocer el destino final de ellos. Al mismo tiempo —debido al insuficiente control de las autoridades— continúan existiendo basurales ilegales y clandestinos. A pesar de ello, la cantidad de empresas con autorización para el manejo final de los desechos industriales ha aumentado de solo 8 en 1994, a más de 2.500 en 2001 (Conama 2007).

### **2.5.1.3 Residuos peligrosos**

En Chile se genera anualmente cerca de 125 mil toneladas de residuos peligrosos. Hay dos empresas importantes que ofrecen servicios para su tratamiento: Hidronor Chile S.A. y Bravo Energy Chile S.A. en la Región Metropolitana. En 2004 procesaron, respectivamente, 40 mil y 6 mil toneladas de material con una alta proporción de residuos peligrosos. Además de ellas, hay alrededor de cuarenta sitios autorizados por el Ministerio de Salud para el tratamiento final de los residuos.

Aunque ninguno de estos servicios opera aún a plena capacidad, la capacidad de los servicios autorizados se ha casi duplicado, de 277 mil toneladas en 2003 a 480 mil toneladas en 2006. Estas importantes inversiones indican que en Chile se espera un fuerte incremento de las cantidades de residuos peligrosos en los próximos años. Razón para ello puede ser la introducción de legislación como el Reglamento para la Gestión de Residuos Peligrosos (GTZ 2006).

### **2.5.1.4 Separación y reciclaje de residuos**

El reciclaje informal de residuos es común, y en Chile existe al menos desde los años setenta. Varios miles de recolectores de desechos —conocidos como “cartoneros”— recogen residuos de las calles y hogares, como papeles, cartones, plásticos y aluminio. Hoy en día, con la cada vez mayor conciencia ambiental, en un creciente número de comunidades se han instalado contenedores para la recogida de materiales como vidrio, metales, plásticos y papel.

La cantidad total de materiales reciclados a partir de RSM llega aproximadamente a 5 por ciento en Chile, y a 9 por ciento en el área de Santiago. Se estima que en el país se recicla aproximadamente 40 por ciento de los residuos de papel, 10 por ciento del vidrio y 3 por ciento de los plásticos. A modo de comparación: en Suiza se recicla cerca de 70 por ciento del papel, 90 por ciento del vidrio y más de 70 por ciento de los plásticos (PET) (véase Tabla 2–4).

Tabla 2-4  
Cuotas de reciclaje en Chile y Suiza para ciertos materiales

	CHILE	SUIZA
Papel	40%	70%
Vidrio	10%	95%
Plásticos (PET)	3%	75%

Fuentes: Bundesamt für Umwelt ([www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)) para Suiza y GTZ (2006) para Chile.

### 2.5.1.5 Reciclaje de residuos peligrosos de hogares

Entre los residuos peligrosos provenientes de hogares tenemos, por ejemplo, baterías, pintura, aceite, medicamentos o RE. Dado que no existe una normativa que obligue a un acopio especial de este tipo de residuos peligrosos desde los hogares, a menudo termina como basura sólida recogida por el municipio. Actualmente no hay estadísticas disponibles respecto de qué cantidad de estos productos se genera. En algunas comunas, en especial en el Área Metropolitana, se han puesto en marcha campañas destinadas a recolectar baterías y otros residuos especiales. Las baterías así recuperadas se enviaban a Hidronor, la empresa recicladora de residuos peligrosos. También se ha instalado un punto de acopio público para diferentes residuos en la comuna de Vitacura (Punto Limpio, [www.vitacura.cl/higiene/punto.php](http://www.vitacura.cl/higiene/punto.php)).

En 2007, por iniciativa de Nokia y Movistar, se convocó a reciclar los teléfonos móviles. Sin importar la marca, los celulares podían ser depositados en puntos de venta de Movistar sin costo alguno. En los dos primeros meses de la iniciativa se recolectaron 15 mil teléfonos, los que serán enviados a una empresa de Estados Unidos para su reciclaje (Chiletech 2007).

### 2.5.1.6 Reciclaje de residuos industriales

Aunque el reciclaje no esté tan desarrollado como en Europa, por ejemplo, en Chile se ha reciclado algunos materiales por largo tiempo ya. Una mirada al mercado chileno muestra un cierto desarrollo del reciclaje de los siguientes materiales:

- Aceites industriales usados
- Solventes
- Chatarra
- Sales de plata de fijadores fotográficos
- Papeles y cartones
- Algunas baterías
- Aluminio
- Plástico

En 2004 se recicló más de 85 por ciento de los residuos metálicos, los que en el centro del país fueron fundidos o exportados a Perú (GTZ 2006). Este impresionante porcentaje es interesante respecto del

reciclaje de RE, considerando que los productos electrónicos contienen metales en grandes cantidades. El reciclaje de RE puede constituir así un atractivo negocio. Desgraciadamente, es de suponer que no siempre se respetan los estándares medioambientales en estos procesos.

### 2.5.1.7 Costos

Es difícil generalizar respecto de los costos de la gestión de residuos sólidos en Chile, pero las cifras que aquí se dan pueden servir como una primera aproximación. Las etapas más costosas en la gestión de residuos son, por lo general, el almacenamiento, el transporte y el tratamiento. La Tabla 2-5 resume las indicaciones del estudio de GTZ sobre costos:

Tabla 2-5  
Costo de algunas opciones de tratamiento final de residuos

TIPO DE COSTO	COSTO (US\$)
Transporte de 5 ton. de residuos industriales por 2 horas	90
Costo por ton. por hora	9
Costo por el tratamiento final de 1 ton. de residuos sólidos en Santiago	32
Transporte	20
Relleno sanitario	12
Tratamiento final en un basural no autorizado (sin transporte)	4
Tratamiento de 1 ton. de residuos peligroso en Hidronor	190

Fuente (GTZ 2006).

## 2.5.2 Marco legal

### 2.5.2.1 Legislación internacional

La legislación internacional más importante relativa a los RE es el Convenio de Basilea, que entró en vigencia en 1992. El Convenio de Basilea es un tratado internacional (un convenio de Naciones Unidas) diseñada para reducir los flujos transfronterizos de residuos peligrosos desde los países desarrollados a aquellos en vías de desarrollo. Sus principales conceptos son:

- La minimización de los residuos peligrosos.
- El tratamiento y disposición final de residuos peligrosos lo más cerca posible de su fuente.
- La minimización de los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos.

A fin de facilitar la definición de cuáles residuos pueden ser considerados peligrosos en el marco del Convenio de Basilea, en 1994 los estados miembros establecieron dos listas (A y B). Los equipos electrónicos —en tanto contengan sustancias como plomo, aleaciones de cobre o berilio— y los tableros de circuito son, por tanto, considerados residuos peligrosos (UN 1992).

Chile ha ratificado el Convenio de Basilea.

### 2.5.2.2 Legislación nacional

Frente a las crecientes cantidades de residuos, se incrementó la presión sobre el Estado a fin de que elaborara una nueva legislación y normativa para la gestión de residuos. Conama ha redactado el borrador de una Estrategia Nacional para la Prevención y Minimización de Residuos Sólidos, que incluye el concepto de responsabilidad extendida del productor y gestión del producto. Aunque la estrategia es

demasiado general para incluir residuos específicos, los RE se mencionan en su Anexo ([www.eiatrack.org/r/1067](http://www.eiatrack.org/r/1067)). El Reglamento de Manejo de Residuos Peligrosos entró en vigencia el año 2005.

La Tabla 2–6 da una visión general de la legislación más importante sobre gestión de residuos en Chile:

Tabla 2–6  
Legislación aplicable a la gestión de residuos sólidos

LEGISLACIÓN	DESCRIPCIÓN
Ley General de Bases del Medio Ambiente	Primer marco legal que trata explícitamente el ambiente.
DS 95/01 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)	Esta normativa entró en vigencia en 1997 y se aplica a proyectos públicos y privados en infraestructura, desarrollo urbano, agricultura, silvicultura e industria. Permite la participación ciudadana y regula la compensación medioambiental.
DFL 725/68 y DS 553/90 del Código Sanitario	Esta normativa del Ministerio de Salud define las pautas de higiene y seguridad relativas a la acumulación, clasificación, uso industrial, comercialización y tratamiento final de los residuos.
DS 594/99, Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo	Normativa del Ministerio de Salud que describe las condiciones ambientales que deben darse en los lugares de trabajo. También especifica que los residuos industriales deben ser transportados por empresas autorizadas.
DS 148/04, Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos	Normativa del Ministerio de Salud que define las condiciones mínimas de sanidad y seguridad para la generación, posesión, almacenamiento, transporte, tratamiento, reutilización, reciclaje y tratamiento final de residuos peligrosos.
DS 298/94, Reglamento Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos	Normativa del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones que regula el transporte de bienes peligrosos.

Fuente: Adaptado con modificaciones de GTZ (2006).

### *La Ley General de Bases del Medio Ambiente*

Esta ley, la primera que trata específicamente temas medioambientales, entró en vigencia en marzo de 1994. Con ella se inició también la creación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama), como un organismo técnico coordinador. Esta ley ofrece los fundamentos para una normativa y marco institucional más elaborados, orientados a la protección del medio ambiente. Sus contribuciones más importantes en el área de la gestión de residuos sólidos son (Seremisalud 2007):

- La integración de medidas de protección del medio ambiente orientadas a prevenir un empeoramiento de la situación ambiental en Chile y apoyar un desarrollo sostenible de la industria chilena.
- La opción por instrumentos de protección ambiental orientados al mercado.
- La introducción de un sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA).
- Estándares para calidad ambiental y emisiones.
- Planes de gestión de residuos.

Recientemente, sin embargo, han surgido críticas relativas a su alcance. Las principales argumentan que las autoridades reguladoras tienen escasas posibilidades de intervención y que la Ley no está a la altura de las normas medioambientales internacionales. En la actualidad está en discusión en el Congreso un proyecto de reforma.

### *Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos*

Este reglamento, establecido por el DS N° 148 ([www.sinia.cl/1292/articles-38293\\_pdf\\_respel.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-38293_pdf_respel.pdf)), establece procedimientos para la gestión de residuos peligrosos y para la operación de puntos de acopio e instalaciones de tratamiento de residuos (Salud 2004).

El artículo 10 del reglamento define residuo peligroso como “residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algunas de las características señaladas en el artículo siguiente”.

El artículo 11 indica que se debe definir el residuo como peligroso si muestra una de las siguientes seis características:

- Toxicidad aguda
- Toxicidad crónica
- Toxicidad extrínseca
- Inflamabilidad
- Reactividad
- Corrosividad

Estas características se definen en los artículos 12 a 17.

El artículo 25 prescribe que “las instalaciones, establecimientos o actividades que anualmente den origen a más de 12 kilogramos de residuos tóxicos agudos o a más de 12 toneladas de residuos peligrosos que presenten cualquier otra característica de peligrosidad, deberán contar con un Plan de Manejo de Residuos Peligrosos presentado ante la Autoridad Sanitaria”.

El reglamento también especifica condiciones para el almacenamiento y transporte de residuos peligrosos.

### **2.5.2.3 Los residuos de computadores, ¿son residuos peligrosos?**

Además de los artículos 10 y 11, el reglamento establece lo siguiente respecto de residuos de computadores:

El artículo 18, lista I del Reglamento sobre Manejo de Residuos Peligrosos, define como residuos peligrosos “sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén contaminados por:

- bifenilos policlorados (PCB),
- terfenilos policlorados (PCT) o
- bifenilos polibromados (PBB)”.

El artículo 18, lista II, establece que los desechos que contengan los siguientes elementos son considerados peligrosos:

- berilio, compuestos de berilio
- compuestos de cromo hexavalente
- compuestos de cobre
- arsénico, compuestos de arsénico
- selenio, compuestos de selenio
- cadmio, compuestos de cadmio
- mercurio, compuestos de mercurio
- plomo, compuestos de plomo

El artículo 19 establece que los residuos listados en el artículo 90, lista A, “son peligrosos a no ser que se demuestre lo contrario ante la Autoridad Sanitaria:

- baterías (...)
- interruptores de mercurio
- vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados (...)
- capacitadores contaminados con, por ejemplo, cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado (PCB)

en concentraciones tales que el desecho represente un peligro potencial”.

De acuerdo con este análisis, puede concluirse que los residuos de computadores pueden ser considerados peligrosos. La principal evidencia se sintetiza en lo que sigue:

- Los residuos de computadores pueden mostrar características de las señaladas en el artículo 11 (esto es, toxicidad crónica), las cuales pueden significar un riesgo para la salud pública o medioambiental (por ejemplo, a través de un manejo inadecuado) y, por tanto, son residuos peligrosos según el artículo 10.
- Los residuos de computadores contienen materiales de los mencionados en el artículo 18, listas I y II, por lo que deben ser considerados residuos peligrosos.
- Los residuos de computadores contienen componentes que son mencionados en el artículo 19 y, por lo tanto, deben ser considerados residuos peligrosos.

### **2.5.3 Industria recicladora de computadores**

#### **2.5.3.1 Descripción general**

Así como la generación de residuos se ha incrementado en Chile en las últimas décadas, la cantidad de desechos electrónicos ha aumentado rápidamente. Por tal razón, la industria de reciclaje se ha desarrollado mucho en el país en los últimos años, con el resultado de que están en operaciones las primeras actividades formales de reciclaje de RE.

A fin de caracterizar la industria nacional de reciclaje, hemos distinguido entre el mercado formal y el informal.<sup>8</sup>

El reciclaje informal de RE desempeña un importante papel en Chile, pero debido a la gran complejidad del mercado informal, no fue investigado en este estudio. Es difícil estimar si es cuantitativamente más o menos importante que el mercado de reciclaje formal. Sin embargo, distintos expertos<sup>9</sup> calculan que en

---

<sup>8</sup> Nota del autor: La definición de formalidad se refiere al grado de legalidad de las actividades de una empresa, la cual se basa en los permisos con que cuenta. Algunos de estos permisos son emitidos por Conama o el Ministerio de Salud (entre ellos, el permiso para tratar, almacenar o transportar residuos peligrosos). Técnicamente, ninguno de los recicladores investigados estaba en posesión de todos los permisos requeridos al momento de la investigación. Más aún, las autoridades responsables aparentemente no les habían pedido las mismas autorizaciones a todos los recicladores. Estas imprecisiones legales han llevado a una situación en la cual cada reciclador está en posesión de diferentes autorizaciones, y sostiene ser el único reciclador acreditado plenamente. El término 'formal' se referirá entonces, en este contexto, al hecho de que una empresa tiene al menos algún tipo de permiso medioambiental o lo estaba solicitando a la fecha. No obstante, por el momento, parece más importante ayudar a esas empresas sin autorización a mejorar sus estándares medioambientales, de salud y seguridad, que colocar demasiado énfasis en estos aspectos legales.

<sup>9</sup> Entrevistas personales con Conama, recicladores y reacondicionadores.

el mercado informal se recicla una gran cantidad de computadores, obviamente sin las necesarias precauciones medioambientales.

Las actividades formales de reciclaje de RE se encuentran hoy en una etapa de fuerte desarrollo. No obstante, la cantidad de recicladores aún es pequeña y todos ellos están ubicados en Santiago. No está claro si existen otras empresas recicladoras, en especial fuera del Área Metropolitana, pero algunos RE de otras regiones también se reciclan, solo que en Santiago.

Hasta ahora, las empresas recicladores operan según un modelo empresa a empresa (B2B, o *business to business model*: la compra-venta de bienes y servicios entre compañías, a través de Internet), en razón de que la industria tiene los medios para pagar por un reciclaje adecuado. La mayoría de los clientes son grandes compañías internacionales chilenas. Los principales incentivos para que la industria envíe sus equipos a reciclaje son la responsabilidad ambiental y la imagen de la empresa. Los balances contables y los beneficios tributarios parecen ser otra motivación. Los computadores domésticos aún no se reciclan en la industria formal de reciclaje de RE.

### 2.5.3.2 Pasos del proceso de reciclaje

En Chile, las actividades de reciclaje todavía son básicas (comparadas con los estándares europeos), y el reciclaje se hace principalmente a mano, sin uso de maquinarias. La Figura 2–14 ilustra el flujo de equipos computacionales a lo largo del proceso de reciclaje.

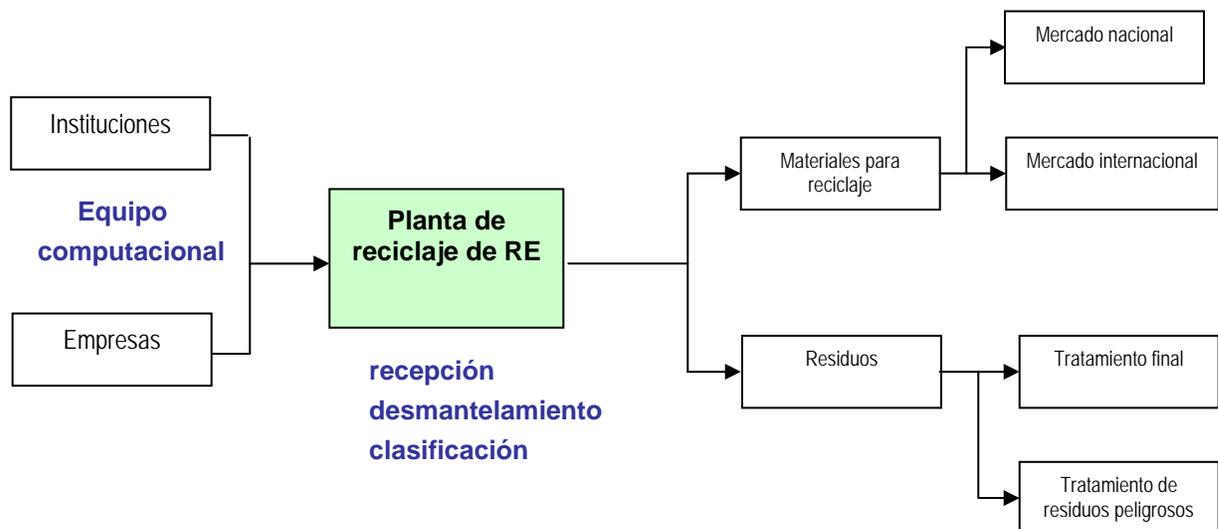


Figura 2–14 Esquema principal del flujo de materiales durante el reciclaje de RE en Chile

A continuación se describen los principales pasos involucrados en el reciclaje de RE en Chile:

#### *Recolección y transporte*

Por lo general, las empresas recicladoras suministran el transporte y retiran los RE desde el lugar donde son generados. Como los residuos de computadores son considerados peligrosos, las autoridades han obligado, al menos a una empresa, a obtener autorización para transportar residuos peligrosos.

### *Desmantelamiento y clasificación*

A su llegada, los equipos electrónicos primero son identificados y luego desmantelados manualmente para la recuperación de diferentes materiales, los que luego son clasificados. Los materiales más importantes que se recuperan son plásticos, metales (sustancias ferrosas, zinc, aluminio, cobre) y tableros de circuito impreso (metales preciosos).

### *Comercialización de materiales reutilizables / reciclables*

Se comercializa los materiales aptos para reutilización o nuevo reciclaje (por ejemplo, fundición de metales). En Chile se recicla principalmente plásticos y metales (en particular en el Área Metropolitana), aunque algunos también se comercializan internacionalmente (Europa, Norteamérica o Asia). Los tableros de circuito impreso se comercializan en Europa o Asia. Los materiales más importantes desde el punto de vista económico son el cobre y los tableros de circuito.

### *Tratamiento final de materiales peligrosos*

Los materiales que no son reciclados se clasifican en residuos sólidos y peligrosos. Los residuos peligrosos, como los tubos de rayos catódicos de los monitores, se envían a la empresa de reciclaje de residuos peligrosos Hidronor.

### **2.5.3.3 Descripción de algunas empresas recicladoras**

Las empresas recicladoras formales analizadas en el marco de este estudio son Carrascal, Grupo Comec, Degraf Ltda. y Recycla. Como parecen constituir las empresas recicladoras más importantes del país, serán descritas brevemente a continuación:

#### *Recycla*

Recycla ([www.recycla.cl](http://www.recycla.cl)) es actualmente la mayor y más importante empresa recicladora de Chile. Según información provista por la empresa, recibe aproximadamente 600 toneladas anuales, 10 por ciento de las cuales es residuo de computadores. Dado que la empresa se puso en funcionamiento hace pocos años, su éxito también se debe a buenas estrategias de mercadeo. Recycla tiene clientes en muchas regiones de Chile y transporta RE en camiones, cubriendo distancias de hasta 2.500 km hasta llegar a la empresa.

Recycla, que posee autorización medioambiental otorgada por el Ministerio de Salud, cobra alrededor de 300 dólares por tonelada de RE, pero garantiza un adecuado reciclaje y tratamiento final de materiales peligrosos a través de un contrato con Hidronor. Las actividades de reciclaje incluyen desmantelamiento manual y la recuperación de materiales para la venta nacional e internacional. Los tableros de circuito impreso se envían a Europa para su fundición y recuperación de metales preciosos.

#### *Carrascal*

Carrascal es la empresa recicladora de equipos electrónicos más antigua de Chile, con una historia que data de los años ochenta. Se originó en el manejo de chatarra, pero actualmente se dedica principalmente a equipos de oficina, como computadores, monitores, impresoras, etc. También se la conoce como el “cementerio de computadores” de Santiago. Es la única recicladora estudiada que no cobra a sus clientes por el reciclaje de RE, sino que se los compra. Eso la hace ser muy conocida, y recibir la mayor cantidad de equipos computacionales de todas las recicladoras.

El modelo de negocios de Carrascal consiste en una mezcla de reutilización y reciclaje. Los computadores y monitores pueden ser comprados a un precio muy bajo y son reutilizados, por ejemplo

por privados o reacondicionadores. Por otra parte, se recupera materiales mediante desmantelamiento manual, los que luego se venden en el mercado nacional o internacional.

Debe mencionarse, sin embargo, que los estándares medioambientales de Carrascal están entre los más bajos de los recicladores estudiados. Aunque, de acuerdo con el dueño, Carrascal cuenta con autorización del antiguo Servicio Metropolitano del Ambiente (Sesma, hoy Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región Metropolitana, [www.seremisaludrm.cl/](http://www.seremisaludrm.cl/)), los equipos computacionales son almacenados en el terreno de la empresa sin protección de las lluvias, y el piso no está pavimentado. El propietario señaló que los residuos peligrosos (como los monitores) se reciclan con la municipalidad; sin embargo, parece improbable que sean objeto de un tratamiento ambientalmente adecuado (como en Hidronor). Carrascal es, así, una suerte de área gris en relación con la distinción planteada antes entre recicladores formales e informales. A pesar de ello, las diferencias prácticas entre Carrascal y los recicladores más formales parecen ser menores.

#### *Degraf Ltda.*

Degraf ([www.degraf.cl](http://www.degraf.cl)) es una empresa familiar pequeña, aunque hace poco se cambió de ubicación y hoy está en una planta techada y de mayor tamaño. La empresa se encuentra actualmente en el proceso de solicitud de los necesarios permisos medioambientales para su nuevo sitio. Una vez que sean aprobados por las autoridades, será la única empresa con una evaluación de impacto ambiental. En 2007 obtuvo autorización para el transporte de residuos peligrosos, y en un futuro próximo puede conseguir una certificación ISO 9001.

Degraf cobra por sus servicios de reciclaje aproximadamente 200 dólares por tonelada. Sus actividades en este ámbito implican desmantelamiento manual y venta de los materiales recuperados. Los residuos peligrosos son enviados a Hidronor. Dado que se trata de una empresa nueva en el mercado, aún están pendientes algunos aspectos relativos a un reciclaje adecuado o la comercialización de materiales.

#### *Grupo Comec*

Grupo Comec ([www.comec.cl](http://www.comec.cl)) es una empresa con varias ramas en Chile. Sus instalaciones principales están en Santiago, y su actividad central es el reciclaje de metales. Los equipos computacionales son solo un aspecto marginal de su negocio, y Comec no recibe monitores por ser éstos residuos peligrosos. Ofrece a sus clientes el reciclaje de computadores como un servicio adicional, y recoge los equipos sin costo si se adjuntan a otras cargas. Lo mencionamos aquí también, dado el supuesto de que Comec es un caso típico de la industria de manejo de metales. Si más empresas tratantes de metales reciben cantidades marginales de computadores, la cantidad total puede ser significativa.

El proceso de reciclaje en Comec comprende desmantelamiento manual del equipo electrónico y comercialización de los materiales recuperados. Los tableros de circuito impreso y otros materiales son compactados y enviados a China.

#### **2.5.3.4 Cantidades recicladas y costos**

La tabla siguiente sintetiza las cantidades de residuos computacionales recibidos y el flujo financiero que significaron para los recicladores estudiados:

Tabla 2-7  
Cantidad de equipo computacional reciclado anualmente por empresas receptoras

EMPRESA RECICLADORA	RESIDUOS COMPUTACIONALES EN TON/AÑO	FLUJO FINANCIERO
Recycla	60	Cobra US\$ 300 / ton
Carrascal	(80)	Compra at US\$ 70 / ton
Degraf	48	Cobra US\$ 200 / ton
Comec	5	Sin flujo
Total	113 / 193*	

\* Se dejará abierto en este estudio el punto sobre si las actividades de Carrascal pueden ser consideradas reciclaje.

Fuente: Información proporcionada por las empresas recicladoras.

Por tanto, estas empresas reciclan en Chile un total de 193 toneladas anuales (o 113 toneladas, si se considerara Carrascal como una recicladora informal). Las diferencias en flujo financiero son notables y sugieren que se debiera llevar a cabo un análisis financiero a fin de determinar un precio de reciclaje que asegure estándares adecuados y, al mismo tiempo, siga siendo atractivo para los generadores de residuos.

Un problema importante para algunas de las empresas entrevistadas es la competencia del sector informal. Las empresas informales pueden ofrecer precios significativamente mejores por equipos computacionales obsoletos, pero venden las partes valiosas sin un manejo responsable de los componentes peligrosos.

## 2.5.4 Tratamiento final

### 2.5.4.1 Situación general

En las últimas décadas han ocurrido cambios significativos. Antes de 1995, los residuos sólidos gestionados por las municipalidades generalmente terminaban en basurales no autorizados. Desde esa época a hoy, empresas privadas han invertido sumas importantes en la construcción de sitios para el tratamiento final de residuos, con algunos estándares medioambientales adecuados. A partir de 1997, todos los proyectos para el tratamiento final de residuos sólidos de gestión municipal deben hacer una evaluación de impacto ambiental para obtener la autorización respectiva del Ministerio de Salud. De esta forma, los estándares medioambientales y sanitarios son mucho más altos en las instalaciones construidas después de 1997.

Una investigación de 2004 dio a conocer que de 257 sitios para el tratamiento final de residuos, solo 128 eran sitios autorizados que cumplían con los estándares medioambientales internacionales sobre al tratamiento final de residuos. Afortunadamente, en Chile cerca de 80 por ciento de los residuos se produce en la zona central, donde las condiciones climáticas y geológicas son favorables a la mantención de rellenos sanitarios seguros y costo-eficientes<sup>10</sup> (GTZ 2006).

<sup>10</sup> Se puede encontrar una descripción detallada de rellenos sanitarios particulares del país en "Sitios de tratamiento final, gestión y tratamiento de residuos sólidos domiciliarios e industriales", publicado en revista *Ecoamérica* (marzo 2006)

En el Área Metropolitana de Santiago el cuadro es algo diferente al del resto del país: la mayor parte de los residuos sólidos se lleva a tres grandes rellenos sanitarios propiedad de empresas privadas.<sup>11</sup> En conjunto reciben alrededor de 2,3 millones anuales de toneladas de residuos sólidos.

Los mencionados rellenos sanitarios debieron hacer una evaluación de impacto ambiental para satisfacer los requerimientos de un reglamento llamado "Normas mínimas de operación de basurales ubicados en el Gran Santiago". Los estándares más importantes, señalados en el artículo 56 del Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos (DS 148/03), incluyen:

- Sellado a prueba de agua del piso del relleno sanitario a fin de prevenir la dispersión de contaminantes, por ejemplo en el agua subterránea.
- Un sistema de drenaje e instalaciones para el tratamiento de lixiviados.
- Una instalación para el tratamiento de los gases producidos por los residuos.

No obstante, una reciente evaluación hecha por Conama en el Área Metropolitana mostró que los basurales clandestinos y los llamados "microbasurales" seguían existiendo. La mayor parte de los residuos depositados en ellos corresponde a materiales de construcción, pero también se encuentran casos peores, con neumáticos usados y barriles con residuos peligrosos.

#### **2.5.4.2 Tratamiento final de equipos computacionales**

Debido al alcance de este estudio, no se pudo estudiar en detalle la situación relativa al tratamiento final de equipos computacionales, lo que desembocó en que quedaran sin respuesta muchas preguntas sobre su destino. De hecho, no se puede explicar con certeza el destino final de la gran mayoría de RE.

A pesar de lo anterior, se asume que un importante porcentaje de equipos computacionales termina en el flujo de residuos domésticos y, por tanto, en rellenos sanitarios o basurales. Si se considera el contenido de los RE, es obvio que esto constituye un problema ambiental.

## **2.6 AUTORIDADES MEDIOAMBIENTALES**

Las autoridades medioambientales en Chile son la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Conama) y las Comisiones Regionales del Medio Ambiente (Coremas). Tal como lo indican los nombres, las responsabilidades de Conama remiten al ámbito nacional, y las Coremas coordinan la gestión ambiental en cada región del país, esto es, tienen alcance regional. Ambas fueron creadas en 1994, con la introducción de la primera legislación amplia relativa al medio ambiente, la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. Conama depende de la ministra de Medio Ambiente, Ana Lya Uriarte, quien fija las políticas institucionales, y una de cuyas tareas es consultar y colaborar con el Ejecutivo en la coordinación y desarrollo de políticas y legislación.

### **2.6.1 Funciones, responsabilidad e instrumentos**

La Ley 19.300 sobre de Bases Generales del Medio Ambiente define el rol y las responsabilidades clave de Conama de la siguiente forma:

---

<sup>11</sup> Santa Marta (manejado por un grupo de empresas chilenas), Santiago Poniente (gestionado por Proactiva, un consorcio de una empresa española y una francesa, FCC y Veolia Environnement) y Loma Los Colorados (manejado por Urbaser-Kiasa).

- asegurar a los habitantes del país la posibilidad de vivir en un ambiente libre de contaminación, la protección del entorno y la preservación de la naturaleza y patrimonio ambiental;
- actuar como un organismo que puede consultar, analizar, comunicar y coordinar en materias relacionadas con el medio ambiente;
- proponer políticas medioambientales a la Presidencia e informarla acerca del cumplimiento de la legislación medioambiental.

No cabe duda, entonces, de que parte de las responsabilidades de Conama es emprender acciones orientadas a solucionar el problema de los RE en Chile y prevenir el daño ambiental que es su consecuencia. Para garantizar el cumplimiento de las responsabilidades señaladas, Conama cuenta con distintas funciones e instrumentos, de los cuales los más importantes relativos a los RE son los siguientes:

- Administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA, [www.e-seia.cl/](http://www.e-seia.cl/)) (las instalaciones para el tratamiento de residuos están obligadas a realizar una evaluación de impacto ambiental).
- Promover la educación ambiental, por ejemplo en las escuelas.
- Financiar proyectos o actividades destinados a la protección o reparación del medio ambiente, la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental, a través del Fondo de Protección Ambiental.
- Elaborar normas ambientales y planes de prevención y descontaminación.
- Mantener el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), para ofrecer gratuitamente el acceso ciudadano a información sobre diferentes temáticas ambientales.
- Coordinar a los organismos vinculados con el apoyo internacional a proyectos ambientales.

### **2.6.2 Avances respecto del problema de los RE**

Desafortunadamente, hasta ahora son escasos los avances hechos en Chile respecto del problema de los RE. En entrevistas personales para este estudio, distintos funcionarios de Conama y Corema mostraron estar conscientes de que el problema de los RE continuaba sin solución, aunque los conocimientos sobre la materia eran básicos y poco se sabía del destino de los equipos electrónicos obsoletos. No obstante, Conama está trabajando activamente para introducir el concepto de responsabilidad extendida del productor (REP) para algunas áreas del tratamiento de residuos sólidos, y los funcionarios declararon su voluntad de introducir la REP en el caso de los RE.

Los principales motivos dados para de la ausencia de acciones tendientes a resolver el problema de los RE fueron los siguientes:

- 1) *Falta de conocimiento.* Aún es básica la información relativa a los RE, debido a falta de investigación; esto es válido tanto para la situación general —es el caso del destino de los equipos electrónicos y sus consecuencias ambientales—, como para los actores involucrados en ello (a menudo en el mercado informal).
- 2) *Falta de capacidad y prioridad dada a otros temas.* La actual falta de iniciativas puede explicarse considerando los recursos financieros, la capacidad personal y la breve historia de Conama. Si se piensa que la autoridad medioambiental existe solo desde 1994 y que antes de esa fecha no era mucho lo que se había hecho para proteger el medio ambiente, es comprensible que muchos problemas permanezcan sin solución y que las autoridades se dediquen a problemas más

urgentes, como el tratamiento final de aceites industriales usados, baterías, plásticos y neumáticos.

- 3) *Falta de poder para controlar y sancionar.* Es limitado el poder de Conama para controlar y sancionar a la industria recicladora y de tratamiento final de residuos, y ello tanto en teoría como en la práctica. Son varias las razones que explican esta situación, entre ellas la falta de un marco legislativo adecuado que otorgue a Conama las facultades necesarias, y limitaciones generales debidas al contexto institucional en que ella fue creada.

## 3 MÉTODOS

---

### 3.1 ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES

#### 3.1.1 En general

El análisis de flujo de materiales es un método para describir, investigar y evaluar el metabolismo de sistemas antropogénicos (o geogénicos). Puede ser utilizado para cuantificar el flujo de materiales, a través de fronteras espaciales o temporales, en un sistema definido. La meta del análisis de flujo de materiales es incrementar la comprensión de un sistema estudiado, lo que constituye un prerrequisito para su mejor control y gestión (Baccini & Bader 1996).

El análisis de flujo de materiales comprende los siguientes cuatro pasos:

- un análisis del sistema y de los procesos y materiales involucrados;
- mediciones de los flujos de materiales o masa;
- cálculo de los flujos de materiales o masa;
- interpretación de los resultados.

#### 3.1.2 Elección del método

Se ha elegido el análisis de flujo de materiales para este estudio ya que ha sido utilizado previamente en estudios similares, por ejemplo en un estudio centrado en la estimación de futuros flujos de sistemas de computadores personales en California (Kang & Schoenung 2006) o en un estudio sobre generación de residuos computacionales en Estados Unidos (Matthews et al. 1997). El estudio de Kang y Schoenung también ha influido en parte en la elección de los procesos incluidos en el modelo.

#### 3.1.3 Definiciones

La definición de los términos más importantes usados en el análisis de flujo de materiales en el contexto de este estudio sigue el manual sobre este método elaborado por Brunner & Rechberger, *Practical Handbook of Material Flow Analysis* (2003):

- *Material*. El término 'material' incluye sustancias y bienes. Las sustancias son definidas como elementos químicos, y los bienes son ítems de la vida real, como madera o un computador. En este estudio, los términos 'producto' y 'bien' se refieren a lo mismo.
- *Proceso*. Se define como 'proceso' la transformación, transporte o almacenamiento de materiales. El proceso utilizado en el análisis de flujo de materiales en este estudio comprende solo transporte y almacenamiento. Un proceso de almacenamiento incluye existencias (*stock*) de materiales, y dónde son almacenados por un periodo determinado.
- *Flujo*. Se define 'flujo' como la tasa de flujo de una masa. Es la razón entre la masa y el tiempo que fluye —por ejemplo— el agua de una cañería, o la cantidad de material computacional obsoleto que fluye hacia el reciclaje y tratamiento final en un año. La unidad física de un flujo puede ser expresada así en unidades de toneladas/año. En este estudio, un flujo también puede referirse a un flujo de bienes. El flujo se da entonces en unidades/año (que fácilmente puede ser convertido en un flujo de masa, multiplicando las unidades por su masa).

- *Coefficiente de transferencia.* El coeficiente de transferencia describe la separación de un material en un proceso.
- *Sistema y fronteras del sistema.* Un sistema es el objeto real de estudio y puede ser considerado la suma de elementos interactuantes en él (por ejemplo, los actores descritos en este estudio). Un sistema puede ser abierto o cerrado, dependiendo de si existen interacciones con elementos que se encuentran fuera de sus fronteras. Las fronteras del sistema definen los límites del estudio en el espacio y el tiempo.

La Figura 3–1 ilustra lo anterior:

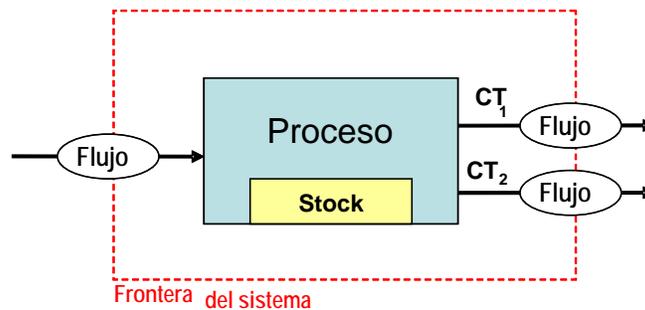


Figura 3-1 Ilustración de los principales elementos utilizados en el análisis de flujo de materiales

CT = coeficiente de transferencia.

### 3.1.4 Descripción matemática

Para describir matemáticamente un sistema se debe contar con un conjunto de variables que lo describan. La meta del cálculo de materiales es poder determinar los flujos de materiales y los materiales almacenados en cualquier momento y en cualquier punto del sistema.

Las bases de una descripción matemática del sistema en el espacio y el tiempo es el principio de conservación de la masa. Dado que el mercado de computadores descrito en este estudio es un sistema abierto, la cantidad de material que ha entrado terminará por dejar nuevamente el sistema.

La principal ecuación de cálculo de materiales es la siguiente:

$$\frac{dM^{(j)}}{dt} = \sum_r A_{rj} - \sum_s A_{js}$$

$M^{(j)}(t)$  : cantidad de materiales en  $V^{(j)}$  (existencia / stock)

$A_{rj}(t)$  : flujo de materiales de  $V_r$  a  $V_j$

$V_r$  : volumen neto acumulado (*selected balance volume*) (proceso)

La separación de los flujos de materiales (después de un proceso) se describe mediante coeficientes de transferencia ( $k$ ), que indican la fracción de material que es transferida desde el volumen neto acumulado  $V_r$  a  $V_s$ . La siguiente ecuación da la definición matemática:

$$k_{rs} = \frac{A_{rs}}{\sum_j A_{jr}}$$

Los principales pasos en el desarrollo de un modelo matemático son:

- Una descripción completa del sistema y de las variables involucradas (por ejemplo, ventas de computadores, tiempos de uso y coeficientes de transferencia).
- La determinación de las ecuaciones de masa, que describen las interacciones en el sistema.
- La implementación de las anteriores en un modelo.

### 3.1.5 Descripción de un sistema

#### 3.1.5.1 Material

Los materiales o bienes descritos son:

- computadores de escritorio,
- computadores portátiles,
- monitores de tubo de rayos catódicos (CRT),
- pantallas de cristal líquido (LCD).

El peso promedio de estos bienes se ha establecido como sigue:

Tabla 3-1  
Peso promedio de equipos computacionales

	Equipos de escritorio	Portátiles	CRT	LCD
[en kg]	11,39	3,51	15,87	5,72

Fuente: SWICO (2006).

#### 3.1.5.2 Fronteras de un sistema

La frontera geográfica del sistema elegida para este estudio es el Estado chileno. La principal razón para haber elegido la totalidad del país (en vez de, por ejemplo, la Región Metropolitana) es que las estadísticas de importaciones y ventas solo están disponibles para el país como un todo.

El intervalo de tiempo considerado es entre 1994 y 2020. Esto se debe a que los datos de venta históricos disponibles comienzan en 1994. Se predice las cantidades de residuos computacionales hasta el año 2020.

Los procesos incluidos en el modelo cubren las fases de producción, venta, consumo y uso (véase Figura 3–2). Debido a su complejidad, se combinan los procesos individuales de las fases de producción y venta, y se los reduce a un solo proceso: la distribución de equipos computacionales al gobierno, empresas y hogares. Los procesos de reciclaje y tratamiento final se dejan fuera de la frontera del sistema, dado que el interés principal del modelo es estimar las cantidades futuras de RE. No obstante, las cuotas de reciclaje y tratamiento final se evalúan de manera separada.

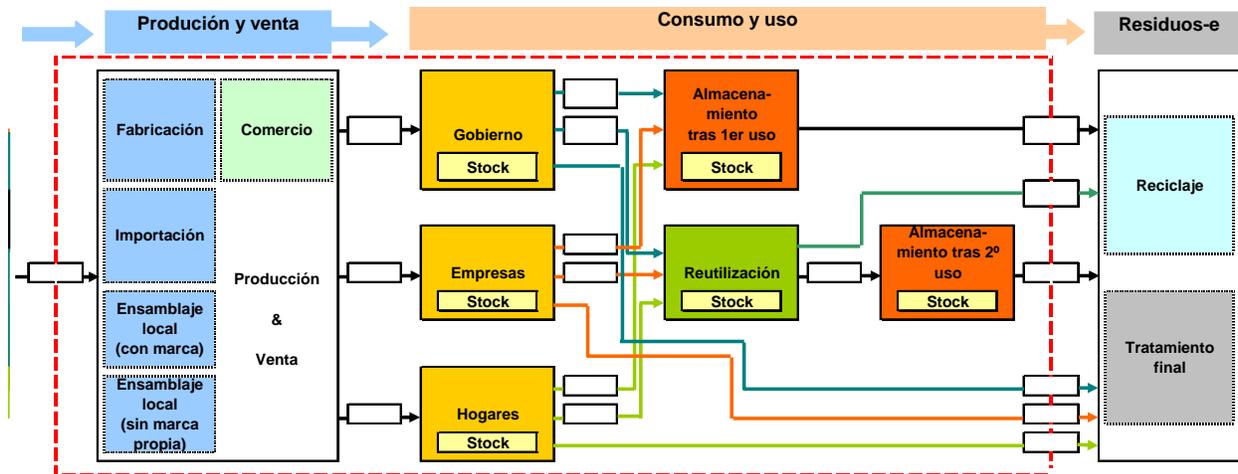


Figura 3-2 Esquema de modelo de análisis de flujo de masas

### 3.1.5.3 Datos y variables del sistema

Los principales datos y variables necesarios para describir todos los flujos del modelo son:

- 1) *Datos de producción y ventas.* Los datos de entrada o cantidad total de equipos computacionales que entran en el modelo.
- 2) *Tiempo de uso.* Los equipos computacionales permanecen por un tiempo considerable en todos los procesos, excepto en la producción y venta. A fin de estimar correctamente la generación de RE, se requieren buenas aproximaciones a los tiempos de uso en las diferentes etapas.
- 3) *Coefficientes de transferencia.* Determinan qué rutas siguen los equipos computacionales en el modelo. Las distintas rutas toman diferentes tiempos.

Véase la Figura 3-3 para la implementación práctica de lo anterior en el modelo:

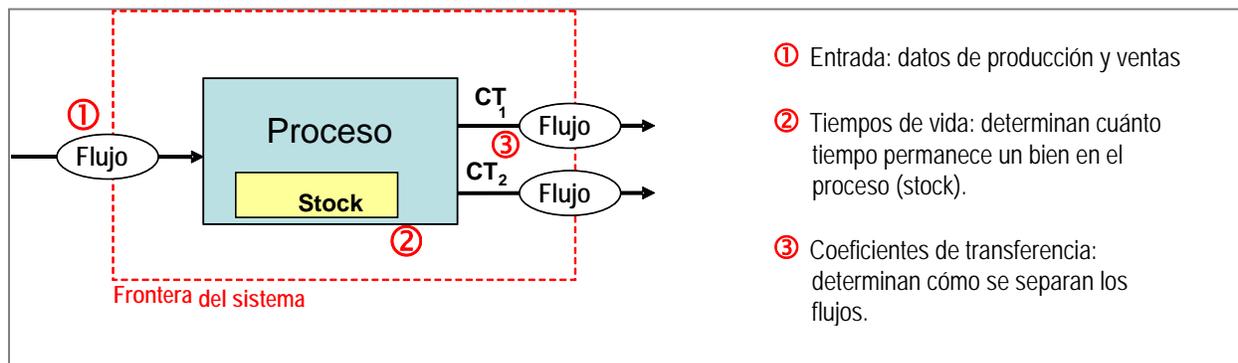


Figura 3-3 Descripción del modelo de datos de insumos

### 3.1.5.4 Procesos

A continuación se describen los procesos utilizados para describir el mercado de computadores en Chile.

- *Producción y venta.* La producción y venta comprende los subprocesos de fabricación, importación, ensamblaje con y sin marca propia, y la comercialización al detalle. Debido a lo complejo que sería investigar estos subprocesos, se ha utilizado, en cambio, un proceso de producción y venta. Esto facilitó la simulación, dado que en Chile hay buena información disponible sobre la venta de computadores. Como el tiempo que toma vender equipos computacionales es insignificante comparado con el de su uso posterior, este proceso no tiene un stock (solo sirve para la separación de los datos de producción).
- *Primer uso.* Gobierno, empresas y hogares. Los computadores son usados por los tres grupos principales del mercado: el gobierno, las empresas y los hogares. Cada proceso contiene un stock, dado que los equipos computacionales permanecen durante algún tiempo en estos procesos. Cuando los equipos se hacen obsoletos, los primeros usuarios tienen tres opciones principales para ellos: descartarlos, almacenarlos o traspasarlos a un segundo usuario.
- *Almacenamiento 1.* Este proceso consiste en el almacenamiento de equipos computacionales durante un cierto lapso después de su primer uso.
- *Reutilización.* La reutilización o segundo uso ocurre cuando un computador es traspasado desde un primer a un segundo usuario.
- *Almacenamiento 2.* Este proceso se refiere al almacenamiento de equipos computacionales por un cierto lapso después de su segundo uso.

## 3.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información ha sido obtenida de investigación en la literatura y en Internet, además de las respuestas a un cuestionario y entrevistas personales.

### 3.2.1 Literatura

Aunque casi no había literatura disponible sobre la situación específica de los RE en Chile, la revisión de la existente fue una de las principales modalidades de recopilación de información para este estudio. Ha sido utilizada para:

- La preparación del estudio, esto es, la elección del método y otras informaciones generales (principalmente artículos).
- El capítulo introductorio sobre gestión de los residuos y legislación en Chile (investigación en Internet y una publicación de GTZ).
- Información sobre diversos actores del mercado de computadores (principalmente investigación en Internet).
- Datos del modelo (investigación en Internet sobre la producción y datos de ventas de fuentes de International Data Corporation (IDC)).

### 3.2.2 Cuestionario

Se enviaron cuestionarios a instituciones gubernamentales, empresas y hogares a fin de obtener información para el modelo. El objetivo principal fue conseguir datos estadísticos respecto del comportamiento de los consumidores (véase los cuestionarios y sus resultados en los Anexos B y C).

Se diseñó las preguntas de los cuestionarios con miras a conocer lo siguiente:

- ¿Dónde compran sus equipos computacionales los consumidores?
- ¿Cómo adquieren los consumidores sus equipos (nuevos, usados o arrendados vía *leasing*)?
- ¿Qué clase de productos compran?
- ¿Por cuánto tiempo los usan?
- ¿Qué destino tienen los equipos obsoletos?
- ¿Por cuánto tiempo se almacena los equipos computacionales?
- ¿Qué cantidades son recicladas / descartadas?

En el caso de las empresas, se clasificó los cuestionarios en dos categorías:<sup>12</sup>

- pequeñas (y medianas) empresas (pymes) (< 200 empleados),
- grandes empresas (> 200 empleados).

Esta división obedeció al hecho de que la gestión de los equipos computacionales difería de manera importante entre las empresas pequeñas y las grandes. Para calcular los coeficientes de transferencia y tiempos de uso en el caso de las empresas (como un solo proceso), los resultados de los cuestionarios se ponderaban mediante la fracción de equipos computacionales vendidos a las empresas pequeñas y la de los vendidos a las grandes (aproximadamente dos tercios y un tercio).

Se recibió un total de 43 respuestas. La Tabla 3–2 muestra en mayor detalle cuántos cuestionarios se envió a instituciones gubernamentales, empresas y hogares, y cuántas respuestas se recibieron.

Tabla 3–2  
Cantidad de cuestionarios enviados y respuestas recibidas, desagregados por receptores

RECEPTOR	CANTIDAD CONTACTADA	CANTIDAD DE RESPUESTAS
Instituciones gubernamentales	5	2
Empresas	160*	19
Hogares	90*	22
Total	255	43

\* Cifras estimadas, ya que en la distribución de los cuestionarios colaboraron terceras personas.

### 3.2.3 Entrevistas

Se realizaron entrevistas a diversos expertos a fin de obtener o complementar información. El Anexo A contiene un resumen de las entrevistas personales realizadas en el curso de este estudio.

---

<sup>12</sup> Definición de la Federación Gremial de la Industria (Sofía, Sociedad de Fomento Fabril), la asociación de industriales más importante del país; véase también <http://es.wikipedia.org/wiki/PYME>.

## 4 ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES

### 4.1 EL MODELO

El modelo para el análisis del flujo de materiales en el mercado de computadores chileno desarrollado en el presente estudio está orientado a estimar las cantidades de RE actuales y futuras. Se ha escogido para ello el programa Microsoft Excel, por la relativa simplicidad de su uso y general disponibilidad. Incluso puede ser usado para nuevas investigaciones en la materia.

El desarrollo del modelo comprendió las siguientes etapas:

- Desarrollo del modelo a fin de representar el mercado de computadores chileno a través de procesos, flujos y stocks.
- Simplificación del modelo, a fin de poder desarrollarlo con la información disponible.
- Desarrollo de escenarios.

Como estaban disponibles los datos históricos desde 1994 en adelante y su influencia directa es observable hasta el año 2015 (o después), se ha escogido desarrollar el modelo hasta 2020.

Los flujos del modelo están calculados sobre la base de la cantidad absoluta de equipos computacionales y no en peso. No obstante, la conversión es sencilla: simplemente, se debe multiplicar la cantidad de equipos por su peso específico.

#### 4.1.1 Simplificación

El modelo original consideraba de manera separada los procesos de las fases de producción y venta (importación, ensamblaje local, comercialización, etc.). Como resultó demasiado complejo cuantificar los flujos que se dan entre esos procesos, se simplificó el modelo considerándolos como parte de un solo proceso, producción y venta. Otro motivo fue la disponibilidad de información potencialmente confiable sobre la venta total de computadores y su distribución a los procesos subsiguientes (gobierno, empresas y hogares). La Figura 4–1 muestra el modelo usado para la simulación del mercado de computadores.

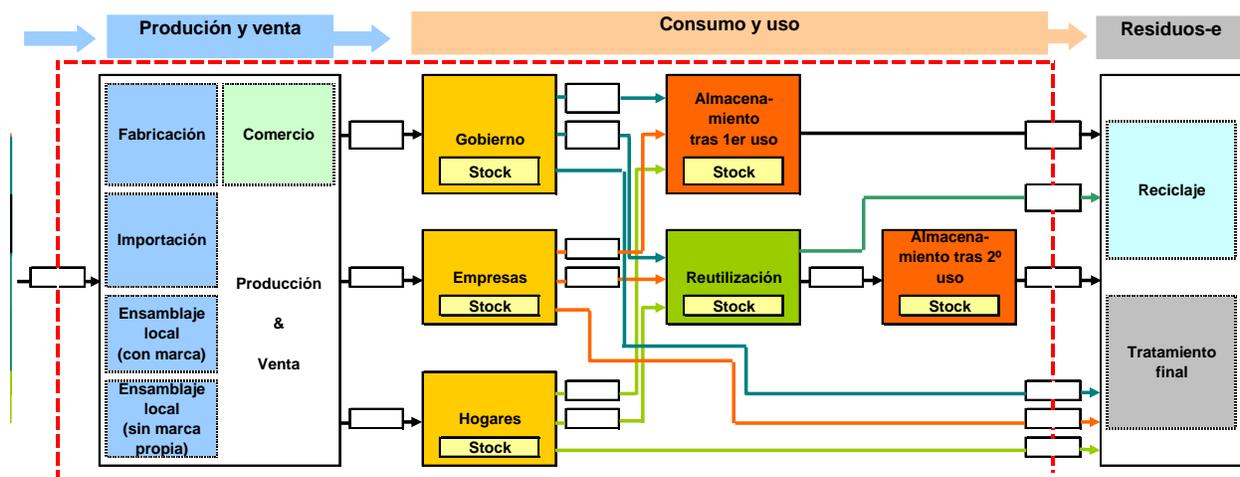


Figura 4–1. Esquema de flujo del modelo usado en este estudio

## 4.2 DATOS DE ENTRADA DEL MODELO

Tal como se indicó previamente, el modelo usa tres tipos de datos para determinar todos los flujos del equipo computacional:

- *Datos de producción y ventas* de los bienes considerados en el modelo (equipos de escritorio, portátiles, CRT y LCD), que constituyen los flujos de entrada del modelo.
- *Tiempos de uso* por proceso, que determinan el tiempo que un bien permanece en un proceso.
- *Coefficientes de transferencia*, que determinan cómo se separa un bien cuando existe más de un flujo en un proceso.

La Figura 4-2 ilustra como se usan estos datos en el modelo:

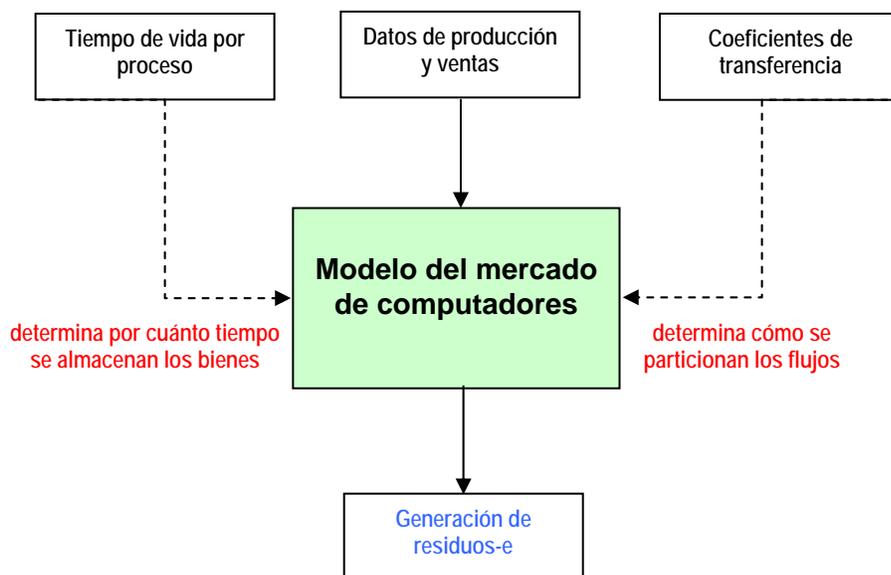


Figura 4-2 Flujo de datos principal a través del modelo

### 4.2.1 Datos de producción y ventas

La siguiente figura presenta las cantidades de equipos computacionales que han sido usados como flujo de entrada al modelo para los años 1994 a 2020.

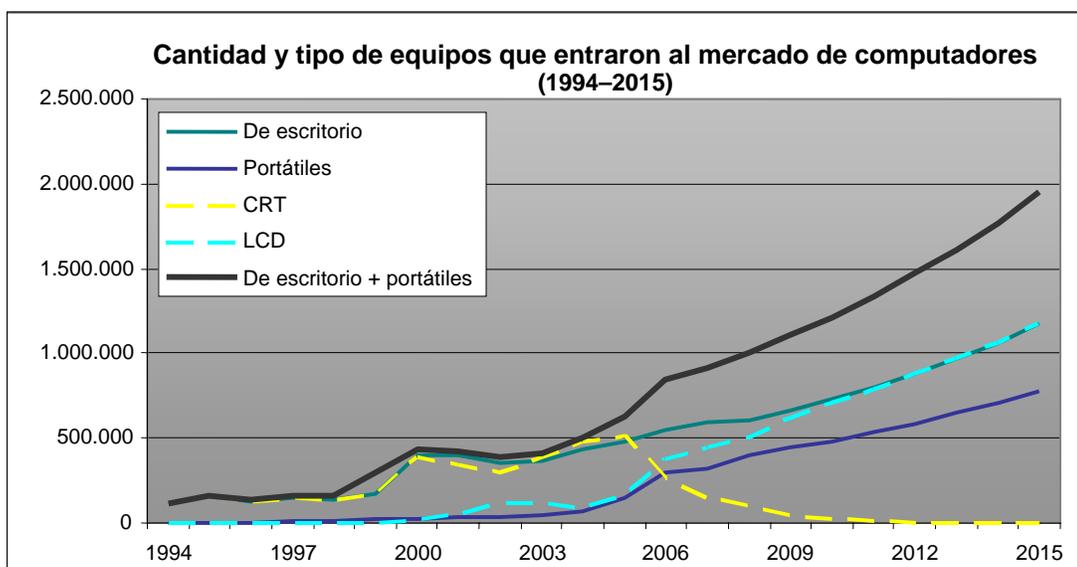


Figura 4-3 Presentación gráfico de la entrada al modelo: computadores de escritorio, portátiles, CRT y LCD

Las principales fuentes de información sobre producción y ventas fueron:

- Datos de la International Data Corporation (IDC, [www.idc.cl](http://www.idc.cl)), recopilados de distintas publicaciones disponibles en Internet.
- Datos del Servicio Nacional de Aduanas, Chile (estadísticas de importación de las base de datos online Estacomex, [www.aduana.cl](http://www.aduana.cl)).

La Tabla 4-1 presenta los datos de producción y ventas en cifras absolutas.

Tabla 4-1  
Equipos computacionales (de escritorio, portátiles, CRT y LCD)  
vendidos en Chile desde 1994 a 2007, y proyecciones al año 2020

AÑO	TOTAL COMPUTADORES	DE ESCRITORIO	PORTÁTILES	CRT	LCD
1994	110.000	110.000	0 a	110.000 b	0 c
1995	160.000	160.000	0 a	160.000 b	0 c
1996	136.035	131.035 a	5.000 a	131.035 b	0 c
1997	159.601	149.601 a	10.000 a	149.601 b	0 c
1998	157.072	141.813	15.259	141.813 b	0 c
1999	299.094	167.325	20.078	167.325 b	0 c
2000	429.177	404.177 a	25.000 a	384.177 c	20000 c
2001	425.865	395.865 a	30.000 a	345.865 c	50000 c
2002	393.724	357.509	36.216	301.459	108.505
2003	407.744	365.219	42.524	382.688	110.594
2004	504.560	434.593	69.966	482.566	85.968
2005	622.709	474.571	148.138	512.109	164.608
2006	843.117	545.088	298.029	267.668	380.851

AÑO	TOTAL COMPUTADORES	DE ESCRITORIO	PORTÁTILES	CRT	LCD
2007	910.828 d	592.038 d	318.790 d	150.000 g	442.038 g
2008	1.001.911 e	601.146 f	400.764 f	100.000 g	501.146 g
2009	1.102.102 e	661.261 f	440.841 f	50.000 g	611.261 g
2010	1.212.312 e	727.387 f	484.925 f	25.000 g	702.387 g
2011	1.333.543 e	800.126 f	533.417 f	10.000 g	790.126 g
2012	1.466.898 e	880.139 f	586.759 f	0 g	880.139 g
2013	1.613.587 e	968.152 f	645.435 f	0 g	968.152 g
2014	1.774.946 e	1.064.968 f	709.978 f	0 g	1.064.968 g
2015	1.952.441 e	1.171.464 f	780.976 f	0 g	1.171.464 g
2016	2.147.685 e	1.288.611 f	859.074 f	0 g	1.288.611 g
2017	2.362.453 e	1.417.472 f	944.981 f	0 g	1.417.472 g
2018	2.598.699 e	1.559.219 f	1.039.479 f	0 g	1.559.219 g
2019	2.858.568 e	1.715.141 f	1.143.427 f	0 g	1.715.141 g
2020	3.144.425 e	1.886.655 f	1.257.770 f	0 g	1.886.655 g
Fuente	IDC	IDC	IDC	Aduanas	Aduanas

NOTAS:

Las cifras en negrillas corresponden a datos obtenidos de una de las fuentes indicadas. Las cifras en cursivas son estimaciones.

En los distintos casos, los supuestos fueron los siguientes:

- a La cantidad de equipos portátiles es una aproximación; la cantidad de equipos de escritorio es igual a la diferencia entre total de computadores y portátiles.
- b El supuesto es que se vende 1 monitor CRT por cada computador de escritorio.
- c La cantidad de LCD fue aproximada; la cantidad de CRT es igual a la diferencia entre equipos de escritorio y LCD.
- d La cantidad de computadores vendidos en el primer trimestre de 2007 (IDC) se multiplicó por cuatro; se asumió que la razón de portátiles a equipos de escritorio es 35% a 65%, como en 2006.
- e Un aumento de 10% anual en las ventas de computadores.
- f Las cifras se basan en el supuesto de que, del total de computadores vendidos, 60% fueron de escritorio y 40%, portátiles.
- g Las cifras se basan en el supuesto de una completa desaparición de de CRT hasta 2012; la cifra de LCD se calculó a partir de la diferencia entre CRT y equipos de escritorio.

#### 4.2.1.1 Supuestos para completar el cuerpo de datos

Como el cuerpo de datos históricos no está completo y los datos futuros debieron se estimados, se aplicaron ciertos supuestos, los que serán expuestos brevemente en la Tabla 4–2.

Tabla 4–2  
Análisis de los supuestos utilizados para completar los datos de entrada del modelo

	SUPUESTO	COMENTARIO	MARGEN DE ERROR
a	La cantidad de computadores es igual a la diferencia entre el total de computadores y los equipos portátiles.	Recién se está comenzando a usar portátiles.	Muy pequeño.
b	El supuesto es que se vende un monitor CRT por cada computador de escritorio.	Este es un supuesto presente en diversos artículos en relación con la estimación de residuos computacionales. Debiera ser relativamente correcto.	Pequeño.
c	La cantidad de LCD fue una aproximación; la cantidad de CRT es igual a la diferencia entre equipos de escritorio y LCD (así: un monitor por cada equipo de escritorio).	Esto debiera ser bastante correcto. (La razón entre monitores y computadores de escritorio cambió, sin embargo, cuando bajaron los precios de los LCD y hubo un cambio en la tecnología.)	Muy pequeño.
d	La cantidad de computadores vendidos en el primer trimestre de 2007 (IDC) se multiplicó por cuatro; se asumió que la razón entre portátiles y equipos de escritorio era de 35% a 65%, como en 2006.	Esto también se basa en predicciones de IDC, en el sentido de que las ventas de computadores superarán los 900.000 equipos en 2007.	Pequeño.

	SUPUESTO	COMENTARIO	MARGEN DE ERROR
e	Un 10% anual de aumento en la venta de computadores.	La predicción de IDC para el año 200t indica que la etapa de crecimiento extremadamente alto del periodo 2004–2006 está terminando momentáneamente. Sin embargo, el supuesto es que el mercado de computadores continuará creciendo rápidamente (alrededor de 10%) hasta 2020. A manera de comparación: el crecimiento promedio de 1994 a 2006 fue de 21%.	Mediano.
f	Las cifras se basan en el supuesto de que, del total de computadores vendidos, 60% son de escritorio y 40%, portátiles.	En 2006, la razón de portátiles a equipos de escritorio fue de 35 a 65. Es probable que esto alcance pronto el nivel de los países occidentales, con una razón de 40 a 60.	Pequeño.
g	Las cifras se basan en el supuesto de una completa desaparición de los CRT para 2012; la cantidad de LCD está calculada a partir de la diferencia entre CRT y equipos de escritorio.	Es probable que en el futuro la tecnología CRT sea reemplazada por LCD; por tanto, el supuesto es que en cinco años a partir de ahora no se venderán más equipos CRT.	Mediano.

#### 4.2.2 Tiempos de uso

El tiempo de uso de un equipo computacional en los procesos individuales del modelo ha sido estimado mediante un cuestionario. En el caso de las empresas, se ha considerado el promedio ponderado de los resultados de empresas pequeñas y grandes empresas. La única información que se pudo recopilar sobre el tiempo de almacenamiento de los equipos computacionales tras su reutilización, fue insuficiente (las empresas y el gobierno apenas manejaban equipos usados, y la información de los cuestionarios tampoco fue suficiente). Se estimó, entonces, que los equipos computacionales son almacenados por dos años, si ello ocurre tras su reutilización. La Tabla 4–3 resume los tiempos de uso utilizados en el modelo. En el Anexo C se puede encontrar resultados más detallados del cuestionario.

Tabla 4–3  
Tiempos de uso de equipos computacionales usados en los procesos del modelo

	TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE EQUIPOS COMPUTACIONALES POR PROCESO			
	De escritorio	Portátiles	CRT	LCD
Gobierno	4	4	5	5
Empresas	4	4	55	5
Hogares	6	5	6	5
Reutilización	3	3	4	4
Almacenamiento después del 1 <sup>er</sup> uso	3	2	3	2
Almacenamiento después del 2 <sup>o</sup> uso	2	2	2	2

#### 4.2.3 Coeficientes de transferencia

De manera similar a los tiempos de uso, los coeficientes de transferencia se estimaron mediante información recopilada vía compilación de los cuestionarios, y se calcularon los promedios ponderados para el proceso ‘empresas’. Los coeficientes de transferencia de la producción y venta provienen de datos de ventas de IDC (CNC 2004). La única información que se pudo recopilar sobre el destino de los

equipos computacionales tras su reutilización, fue insuficiente. Se estimó, entonces, que la mitad de los equipos computacionales es almacenada, mientras la otra mitad es descartada o reciclada. Véase la Tabla 4-4 para un resumen de los coeficientes de transferencia utilizados en el modelo. Los resultados detallados del cuestionario pueden verse en el Anexo C.

Tabla 4-4  
Resumen de los coeficientes de transferencia utilizados en el modelo (en porcentajes)

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE EQUIPOS COMPUTACIONALES EN EL MODELO (EN PORCENTAJES)					
de	a	De escritorio	Portátiles	CRT	LCD
Producción y ventas	Gobierno	10	10	10	10
	Empresas	55	55	55	55
	Hogares	35	35	35	35
Gobierno	Almacenamiento tras 1 <sup>er</sup> uso	0	0	0	0
	Reutilización	100	100	100	100
	Tratamiento final / Reciclaje	0	0	0	0
Empresas	Almacenamiento tras 1 <sup>er</sup> uso	14	19	18	12
	Reutilización	72	77	73	78
	Tratamiento final / Reciclaje	14	3	9	10
Hogares	Almacenamiento 1	25	0	57	0
	Reutilización	54	71	36	86
	Tratamiento final / Reciclaje	21	29	7	14
Reutilización	Almacenamiento tras 2 <sup>o</sup> uso	50	50	50	50
	Tratamiento final / Reciclaje	50	50	50	50

### 4.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

El concepto de validar un modelo apunta a ver en qué medida los resultado predichos reflejan la realidad. Para hacerlo, se debe contar con un conjunto de datos provenientes de otra investigación confiable y compararlos con los datos calculados del modelo. En el caso de este estudio, tales datos podrían ser:

- Mediciones de los flujos entre procesos (por ejemplo, cuánto está fluyendo desde los gobiernos a la reutilización, o cuánto residuo-e se está generando).
- Mediciones de los stocks de equipos computacionales en un proceso.
- Mediciones de ciclo de vida total de un equipo computacional (que es una función de los tiempos de vida individuales y los coeficientes de transferencia del modelo).

Debido a la generalizada falta de información concerniente al mercado de computadores y cantidades de RE, ha sido difícil validar el modelo.

La única información adecuada para realizar una validación que se ha encontrado es la de IDC sobre la cantidad instalada de computadores en hogares, empresas y el gobierno para el periodo 1998-2003 (CNC & IDC 2002). Se ha comparado esta información con las cantidades de computadores (de

escritorio y portátiles) en existencia en los respectivos procesos del modelo. Para una comparación entre los dos grupos de datos, véase la siguiente figura:

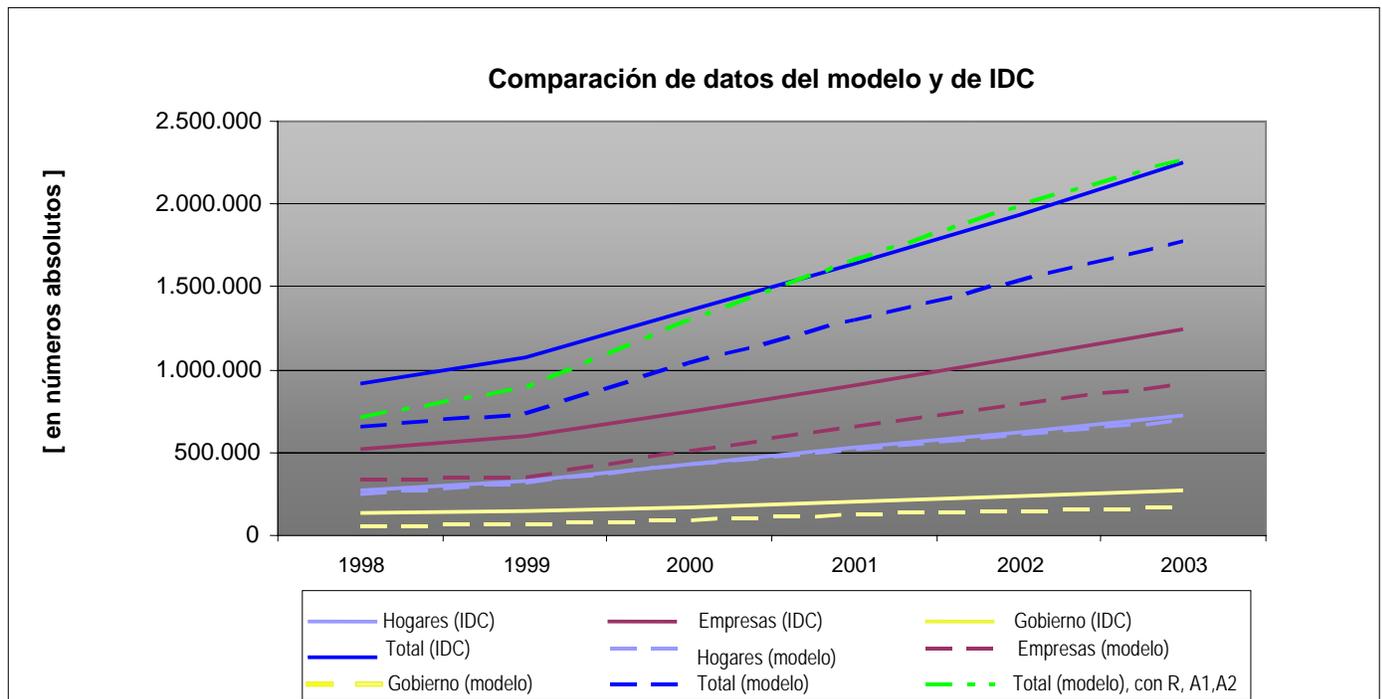


Figura 4-4 Comparación de los datos del modelo y de IDC para su validación  
(R = reutilización, A1/A2 = almacenamiento después del 1º y 2º uso)

La comparación muestra una diferencia significativa entre los datos del modelo y los de IDC respecto de las cantidades instaladas de computadores. La diferencia promedio fue de 3 por ciento para los hogares, 31 por ciento para las empresas y 46 por ciento en el caso del gobierno (véase Tabla 4-5). La diferencia promedio en el total de la base instalada de computadores fue de 24 por ciento (líneas azules).

Estas diferencias pueden ser explicadas en parte por el hecho de que, en teoría, la base instalada de computadores también puede incluir computadores que están siendo reutilizados o almacenados (de los que se da cuenta de manera separada en el modelo). La línea verde de la Figura 2-1 representa los datos del modelo, incluidos reutilización y almacenamiento. Puede observarse que desde el año 2000 en adelante calza bien con los datos de IDC (con una desviación máxima de los datos de IDC de 4 por ciento). Para los años anteriores, los stocks de reutilización y almacenamiento no han sido cubiertos por completo, dado que el modelo parte en 1994.

Dado que el modelo no incluye procesos separados de reutilización y almacenaje, no se dispone de ninguna información sobre qué cantidad es reutilizada y cuánto es almacenado en hogares, empresas y el gobierno. No obstante, sabiendo que una proporción importante de computadores es almacenada y reutilizada por los hogares, pareciera que el modelo está sobreestimando la cantidad de computadores instalados en hogares. Siguiendo esta línea de pensamiento, parece obvio que el modelo está subestimando la base de computadores instalada en empresas y el gobierno.

Tabla 4-5  
Subestimación del modelo relativa a datos de IDC (en porcentajes)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	PROMEDIO
Hogares	5	4	0	1	2	4	3
Empresas	35	42	32	27	27	27	31
Gobierno	54	56	45	40	39	38	46
Diferencia promedio (línea azul)	29	32	23	21	20	21	24
Diferencia promedio, con R, A1, A2 * (línea verde)	22	18	4	-2	-3	-1	6

\* R = reutilización; A1/A2 = almacenamiento tras 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> uso.

A continuación, un resumen de las conclusiones:

- El modelo está subestimando los stocks de computadores en las empresas e instituciones gubernamentales.
- El modelo aparentemente ofrece una buena estimación de la cantidad de computadores existentes en los hogares. No obstante, considerando que una fracción importante de los equipos que están siendo reutilizados están instalados en hogares, en la práctica el modelo está sobrestimando la cantidad de computadores en hogares (para 1998–2003). Probablemente esto se debe al hecho de que para todo el periodo de simulación se ha supuesto una participación constante de hogares en el mercado (coeficientes de transferencia constantes). En realidad, la fracción de computadores vendidos a hogares fue menor en los años noventa que después.
- El modelo realiza predicciones precisas para la base instalada total de computadores en el mercado (incluidos reutilización y almacenamiento).

Como una palabra final de advertencia, recordamos que tanto una parte de los datos del modelo como los datos para comparación, se basan en datos de IDC. No se dispone de información sobre la calidad de estos últimos.

#### 4.4 ESCENARIOS CONSIDERADOS EN EL MODELO

Se ha especificado cuatro escenarios para la predicción de RE de equipos computacionales en Chile, periodo 2007–2020, los cuales se describen a continuación. (Todos los parámetros pueden verse en detalle en el Anexo D.)

##### 4.4.1 Escenario 1: de datos recopilados

Este escenario se basa en las fuentes de datos presentadas previamente en este estudio. Los datos de entrada del modelo se basan en datos de IDC, y los tiempos de uso y coeficientes de transferencia, en los cuestionarios.

#### 4.4.2 Escenario 2: de datos recopilados, con ajustes

Dado que el tamaño de la muestra de los cuestionarios se mantiene relativamente pequeño, la idea principal tras este escenario es realizar algunos ajustes que parecen razonables, basados en entrevistas a expertos y en la experiencia obtenida durante la conducción del estudio.

Un cambio importante ha sido, por ejemplo, la fracción de equipos computacionales que fluye desde las instituciones gubernamentales a la reutilización, almacenamiento y reciclaje / tratamiento final. Los datos del cuestionario indicaban que 100 por ciento de los equipos se destinaba a reutilización. Sin embargo, otras fuentes gubernamentales estimaban que eso no era correcto.

#### 4.4.3 Escenario 3: mejor caso

Los escenarios del mejor y peor caso están diseñados para detectar cuál podría ser la generación máxima y mínima de RE de equipos computacionales en Chile durante los próximos años.

El mejor caso supone, así, un ciclo de vida útil mayor en los computadores (mayores tiempos de uso) y que se favorece los flujos de equipos computacionales a almacenamiento y reutilización por sobre los flujos a reciclaje / tratamiento final directos. Además, se ha supuesto un crecimiento del mercado de computadores entre 2008 y 2020 de solo 5 por ciento.

#### 4.4.4 Escenario 4: peor caso

El escenario del peor caso supone lo opuesto del escenario de mejor caso: ciclos de vida útil más cortos para los equipos computacionales (tiempos de uso más cortos en los procesos), una preferencia en los flujos por reciclaje / tratamiento final, y un crecimiento del mercado computacional de 15 por ciento.

#### 4.4.5 Resumen de escenarios del modelo

La Tabla 4–6 resume los escenarios descritos antes:

Tabla 4–6  
Resumen de los escenarios del modelo

ESCENARIO	CARACTERIZACIÓN
1: de datos recopilados	<ul style="list-style-type: none"><li>• datos provenientes de la revisión de la literatura y cuestionarios</li><li>• crecimiento de 10% anual en las ventas de computadores</li></ul>
2: de datos recopilados con ajustes	<ul style="list-style-type: none"><li>• datos provenientes de la revisión de la literatura y cuestionarios y algunos ajustes en los coeficientes de transferencia y tiempos de vida útil basados en opiniones expertas</li><li>• crecimiento de 10% anual en las ventas de computadores</li></ul>
3: mejor caso	<ul style="list-style-type: none"><li>• tiempos de vida útil largos</li><li>• reutilización y almacenamiento preferidos sobre tratamiento final directa</li><li>• crecimiento de 5% anual en las ventas de computadores</li></ul>
4: peor caso	<ul style="list-style-type: none"><li>• tiempos de vida útil cortos</li><li>• preferencia por tratamiento final directa, antes que por reutilización y almacenamiento</li><li>• crecimiento de 15% anual en las ventas de computadores</li></ul>

## 5 RESULTADOS

### 5.1 GENERACIÓN DE RE

#### 5.1.1 Comparación de escenarios

Los resultados del análisis de escenarios relativos a la generación de RE en Chile desde 1996 a 2020 se presentan en la Figura 5–1 (en cantidades) y en la Figura 5–2 (en peso). Las líneas cortadas representan las ventas de computadores para el mismo periodo de tiempo.

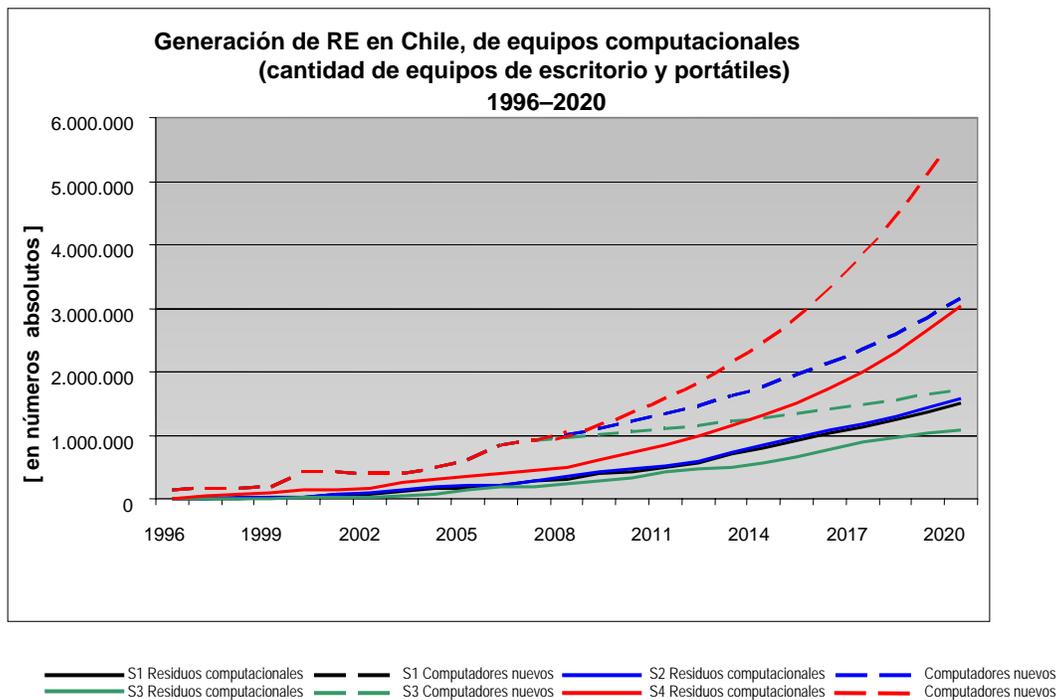


Figura 5–1. Generación de residuos computacionales en Chile, en cantidades, 1996–2020

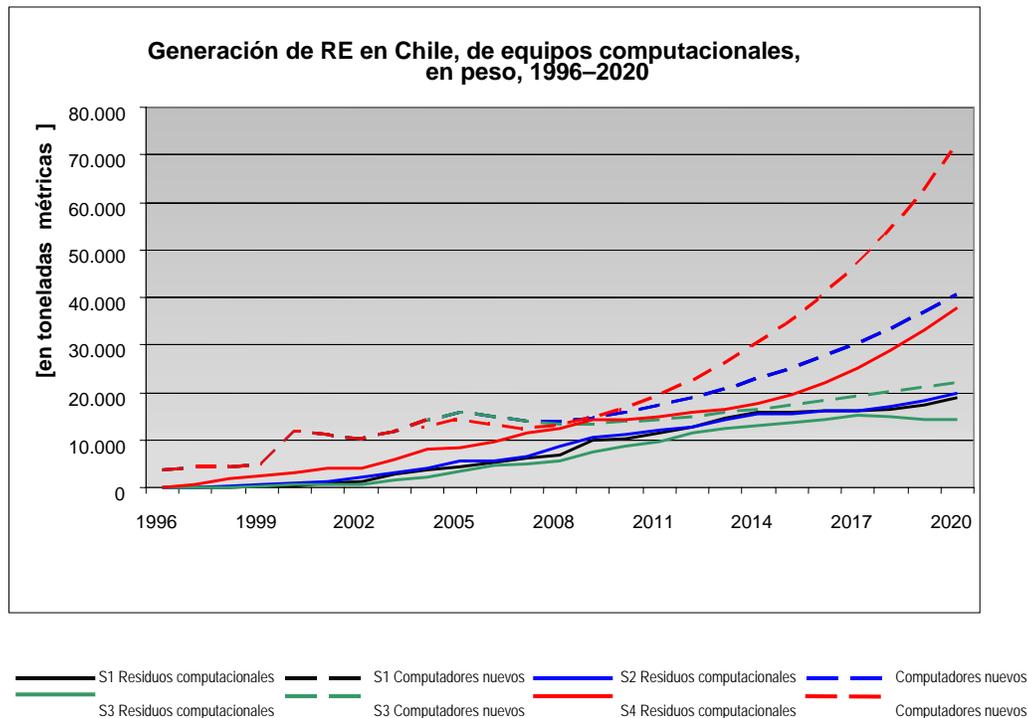


Figura 5-2. Generación de residuos computacionales en Chile, en toneladas, 1996-2020

Las principales observaciones son las siguientes:

- Los escenarios 1 y 2 son muy similares entre sí, por lo que los ajustes hechos en el escenario 2 solo tienen una influencia menor en las predicciones del modelo.
- El escenario del mejor caso (3) es muy similar a los escenarios 1 y 2. Sólo después de 2018 la diferencia se hace más notoria.
- El escenario del peor caso (4) muestra valores significativamente más altos para todo el periodo de tiempo.
- El ciclo de vida útil de un computador es de importancia clave: mientras más corto sea, más rápida es la generación de RE (esto puede verse en el escenario del peor caso).
- El supuesto sobre el crecimiento del mercado de computadores para los años 2008 a 2020 es notorio en los comienzos del año 2013 (cuando el primer equipo vendido en 2008 se transforma en residuo). Hasta ese momento, la predicción se apoya en datos históricos y en los supuestos para los tiempos de uso y coeficientes de transferencia.

Como puede verse en la Figura 5-3 a continuación, de acuerdo con los cuatro escenarios, la cantidad total de RE generada por equipos computacionales en el periodo 1996-2020 varía entre 173 mil y 332 mil toneladas. De estas cantidades, solo entre 9 y 15 por ciento ha sido generado hasta el año 2006. Por lo tanto, en el lapso 2007-2020 se producirá entre 85 y 91 por ciento de la cantidad de RE. La predicción promedio de los escenarios para la cantidad generada de residuos computacionales entre 2007 y 2020 es de 206.744 toneladas. La predicción promedio para la cantidad de RE producidos en 2007 es 7.291 toneladas.

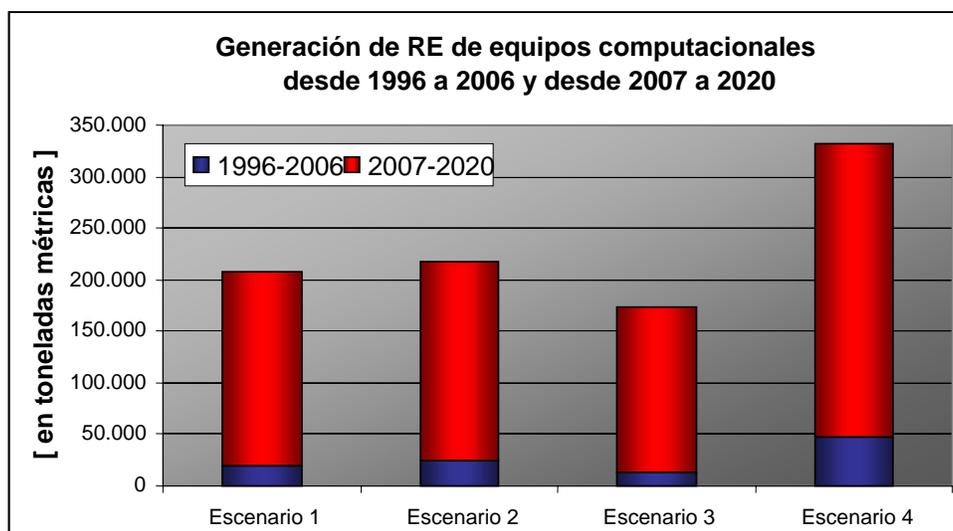


Figura 5-3 Generación de residuos computacionales, en toneladas, 1996–2006 y 2007–2020

### 5.1.2 Generación de residuos computacionales según datos recopilados

Las siguientes figuras muestran la cantidad de computadores nuevos que entran en el mercado y la generación de residuos computacionales en números absolutos y peso, como resultado de la información recopilada en este estudio (escenario 1). Las observaciones más importantes son:

- En la figura que ilustra las cantidades absolutas se puede ver claramente que los residuos computacionales son generados con una dilatoria de aproximadamente 7–8 años, que corresponde al ciclo de vida promedio de los equipos.
- En la figura que ilustra las cantidades según peso este comportamiento no es observable. El motivo es el cambio en tecnología ya mencionado (de equipos de escritorio a portátiles y de CRT a LCD). Como consecuencia, la cantidad de residuos computacionales no aumenta significativamente en cuanto a peso durante el lapso 2014–2018.
- No obstante, los flujos de residuos computacionales están aumentando rápidamente, y en especial lo harán en los próximos años. De 2008 a 2010 la tasa de crecimiento promedio será de 20 por ciento. De 2007 a 2020 la tasa media de crecimiento será un 10 por ciento anual para peso y 16 por ciento en números absolutos.

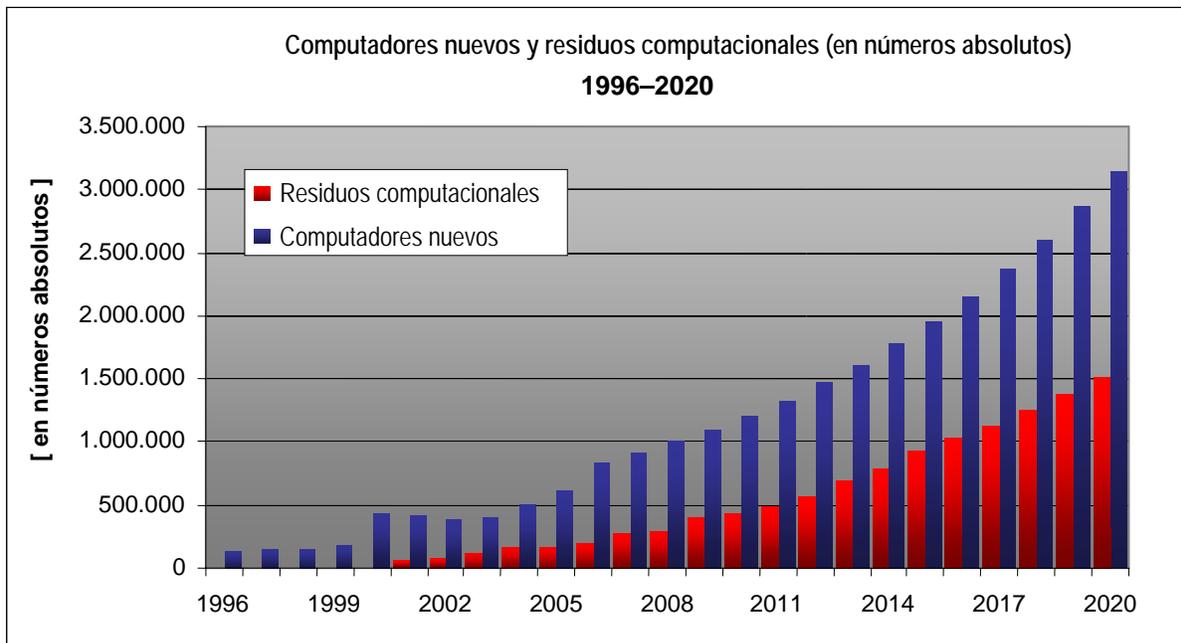


Figura 5–4 Generación de residuos computacionales en números absolutos, 1996–2020

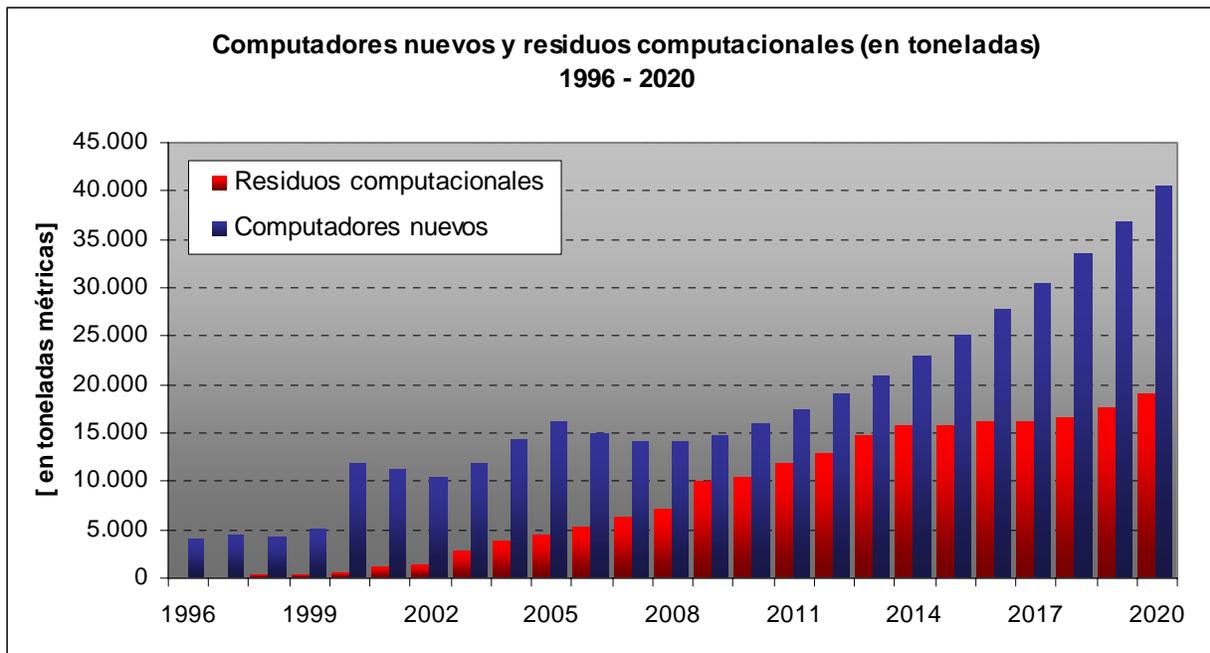


Figura 5–5 Generación de residuos computacionales en peso, 1996–2020

### 5.1.3 Residuos de equipos de escritorio, portátiles, CRT y LCD

Las figuras 5–6 y 5–7 muestran los resultados del escenario 1 para la composición de los residuos computacionales en Chile en cantidades y peso. Puede verse cómo el cambio de tecnología en el mercado de computadores se refleja en la composición de los residuos computacionales. Puede

observarse que los computadores portátiles y los LCD todavía son fracciones insignificantes de los residuos computacionales. Sin embargo, desde 2010 en adelante, constituirán flujos de residuos de creciente importancia. Hoy en día, tanto los equipos de escritorio como los CRT componen casi la mitad del flujo de residuos.

Otra observación es que seguirá aumentando la importancia de los computadores de escritorio para los flujos de residuos (en peso). En 2020, los equipos de escritorio constituirán cerca de dos tercios de los residuos computacionales desde el punto de vista del peso.

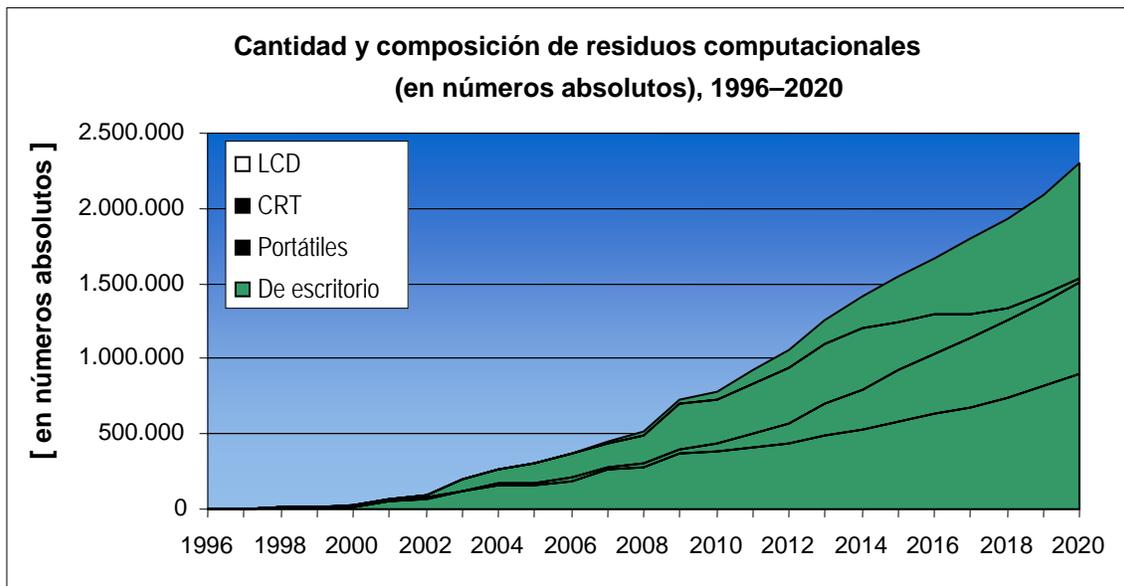


Figura 5-6 Cantidades y tipo de residuos computacionales, en número, 1996–2020

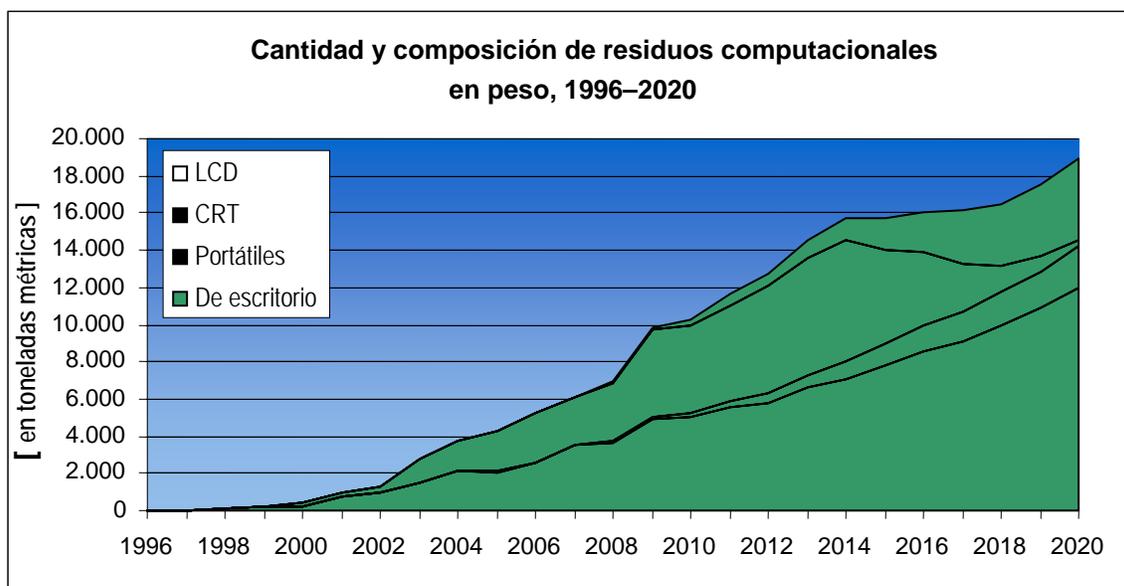


Figura 5-7 Cantidades y tipo de residuos computacionales, en peso, desde 1996 a 2020

### 5.1.4 Importancia de los flujos individuales

Se ha analizado la importancia de los flujos individuales de computadores en el mercado chileno, y sus resultados se presentan a continuación (para el escenario 2):<sup>13</sup>

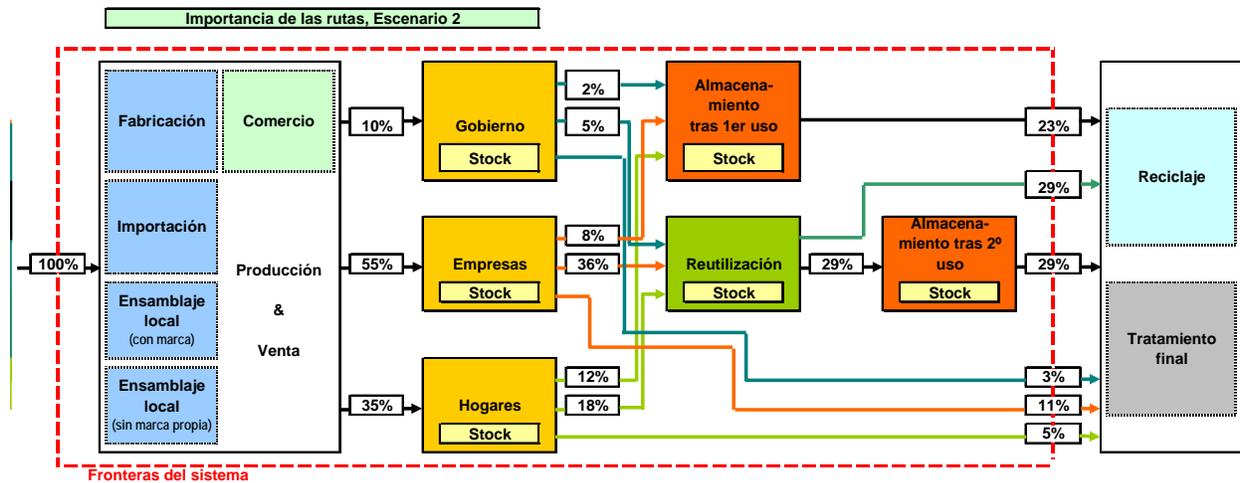


Figura 5-8 Importancia de los flujos individuales en el modelo para el escenario 2

Puede observarse que los flujos más importantes de equipos computacionales en la fase de consumo son los dirigidos a la reutilización (36 por ciento de las empresas y 18 por ciento de los hogares). En conjunto, 58 por ciento de los computadores va a reutilización, 23 por ciento es almacenado y solo 19 por ciento es descartado directamente (véase Tabla 5-1).

Tabla 5-1  
Destino de equipos computacionales obsoletos tras el 1er uso  
(en porcentajes)

DESTINO	%
Almacenamiento	23
Reutilización	58
Reciclaje / tratamiento final	19
TOTAL	100

Al mismo tiempo, esto implica que solo 42 por ciento de los computadores es descartado por la misma persona que ha comprado el nuevo computador.

<sup>13</sup> Se ha escogido el escenario 2 debido a los "flujos cero" de almacenamiento y reciclaje / tratamiento final desde el gobierno en el escenario 1; véase los supuestos para el escenario 2.

### 5.1.5 Flujos de residuos computacionales en Chile en 2007

En la Figura 5–9 se presenta una “instantánea” de los flujos computacionales en toneladas, para el año 2007 (por escenario). En total, 13.955 toneladas fluyen al mercado, 4.360 son almacenadas (incluyendo almacenamiento tras segundo uso), 6092 toneladas van a reutilización y 6.566 a reciclaje o tratamiento final.

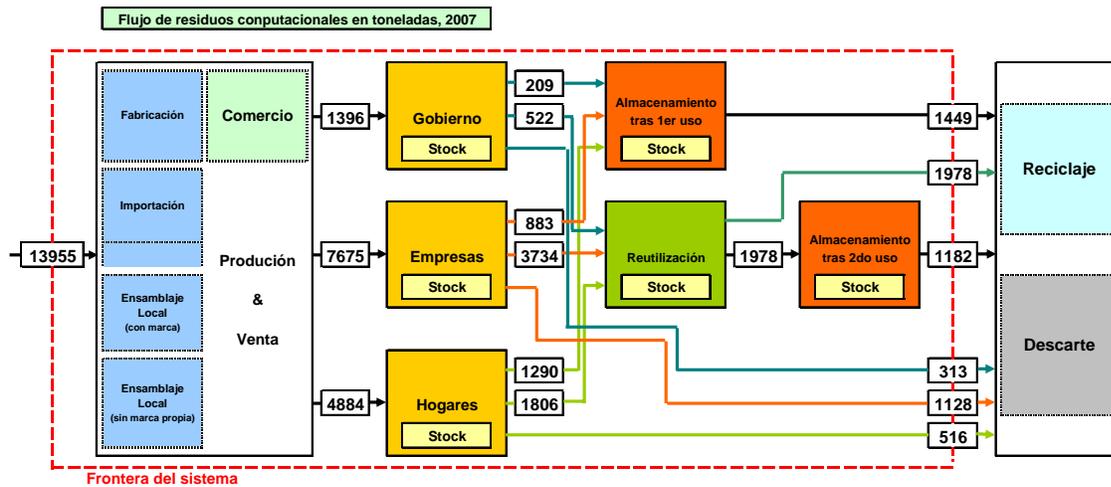


Figura 5–9 Flujos de residuos computacionales durante el año 2007 en toneladas según escenario 2

## 5.2 COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO DE ANÁLISIS DE FLUJO DE MATERIALES (AFM) Y UN MODELO SIMPLE

A fin de determinar la calidad de las predicciones que pueden hacerse con modelos más simples, se ha tomado un modelo simple y se ha comparado sus resultados con el AFM.

En el modelo simple, se supuso solo un ciclo de vida útil por equipo. La hipótesis es que los equipos computacionales se transforman en residuos después de este ciclo de vida. Dado que es la única variable del modelo, los datos de producción y ventas son simplemente transferidos al periodo del ciclo de vida.

Véase las figuras 5–10 y 5–11 para una comparación, desde el punto de vista de la cantidad y peso, entre el escenario 1 y los resultados del modelo simple para ciclos de vida de 5 y 7 años.

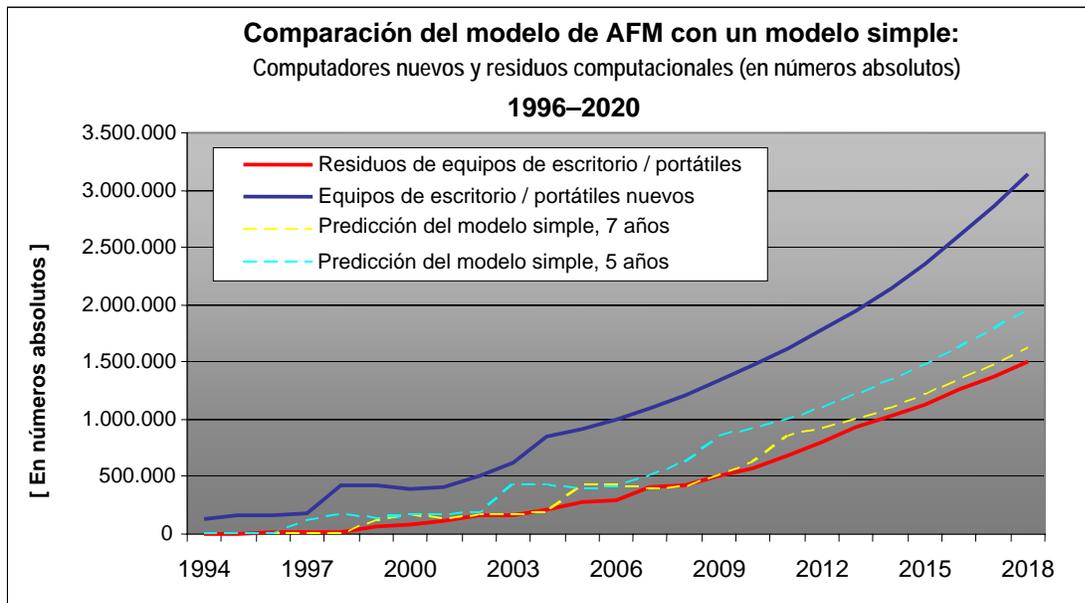


Figura 5-10 Comparación entre un modelo simple y los datos del AFM, en números absolutos

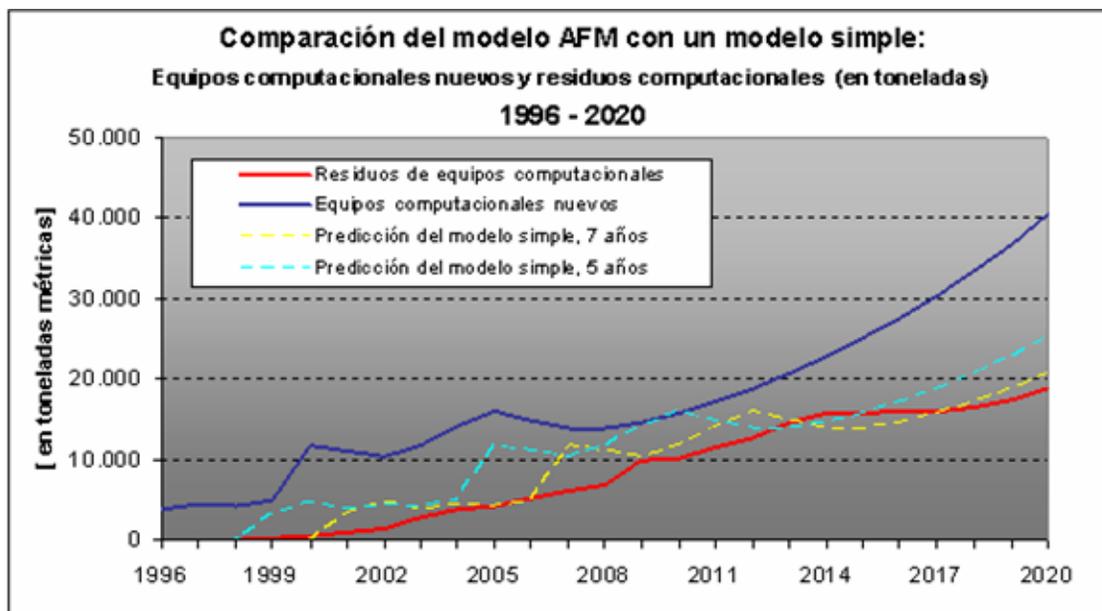


Figura 5-11 Comparación entre un modelo simple y datos del AFM, peso

Algunas observaciones relativas a la predicción del modelo simple:

- *En el caso de 7 años*, el modelo simple produjo predicciones similares a las del modelo AFM en cuanto a números absolutos, pero menos precisas con respecto a las cantidades en peso (se mantiene la tendencia general, pero los puntos individuales de datos difieren significativamente).
- *En el caso de 5 años*, la estimación difiere drásticamente de la predicción del escenario 1, tanto en cantidades como en peso.

De lo anterior puede concluirse que el método simple de estimación es —al menos para una estimación rápida— una herramienta interesante para realizar estimaciones acerca de la cantidad de equipos computacionales obsoletos. Al mismo tiempo, es menos útil para estimar cantidades de residuos computacionales según peso. La razón es que el modelo incorpora menos información acerca de los consumidores (esto es, tiempos específicos de uso para equipos de escritorio, portátiles, CRT y LCD en cada proceso).

No obstante, el modelo simple realiza predicciones útiles solo si está disponible una buena estimación del ciclo de vida útil de un equipo computacional, como puede verse en el caso de los 5 años. En este estudio no se contó con tal información al comienzo, y las opiniones expertas diferían significativamente (más o menos entre 4 y 12 años). Uno de los principales logros del modelo AFM es, así, la predicción de un ciclo de vida útil general de los equipos computacionales a partir de un análisis detallado del mercado.

### 5.3 CICLO DE VIDA ÚTIL DE EQUIPOS COMPUTACIONALES

El ciclo de vida útil promedio de los equipos computacionales en el modelo se puede calcular como una función de los coeficientes de transferencia y el tiempo de uso.

La Tabla 5–2 presenta el tiempo de vida útil promedio de equipos computacionales en los escenarios 1 y 2:

Tabla 5–2  
Tiempo de vida útil promedio de equipos computacionales según escenarios 1 y 2

TIEMPO DE VIDA ÚTIL PROMEDIO	EQUIPOS DE ESCRITORIO	PORTÁTILES	CRT	LCD
Escenario 1	8,1	7,5	9,0	9,2
Escenario 2	7,7	7,7	8,7	9,0

Actualmente, entonces, los equipos de escritorio y los portátiles tienen un uso aproximado de 8 años, y los CRT y LCD, de 9 años.

### 5.4 CUOTA DE RECICLAJE DE COMPUTADORES EN 2007

Para estimar qué fracción de los residuos computacionales se recicla actualmente en Chile, se ha realizado el siguiente cálculo:

La cantidad total de equipos computacionales reciclados (según estimados en la sección 2.5.3.4) es 193 toneladas (o 113 toneladas si se excluye Carrascal, por sus prácticas de reciclaje). Las cantidades totales de residuos computacionales generados en 2007 se calculan mediante el modelo de AFM. La cuota de reciclaje computacional de residuos de computadores en Chile en 2007 fue, así, de entre 1,7 y 3.1 por ciento (véase Tabla 5–3).

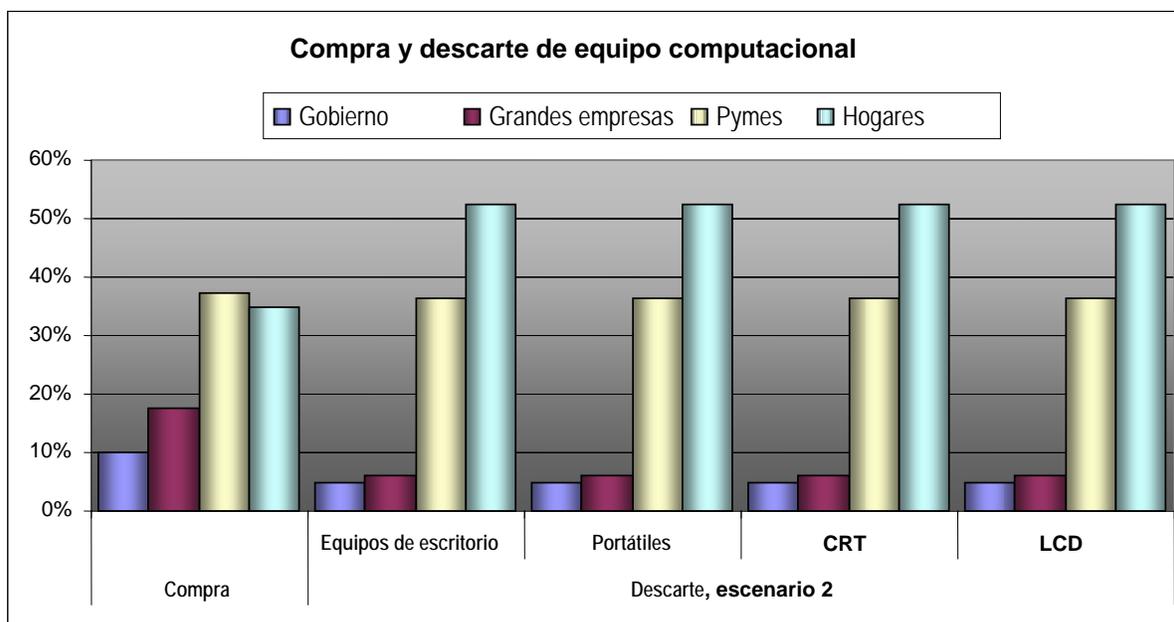
Tabla 5-3  
Cuota de reciclaje de residuos computacionales en 2007

[EN TONELADAS]	GENERACIÓN DE RESIDUOS COMPUTACIONALES	RESIDUOS COMPUTACIONALES RECICLADOS	RECICLADOS SIN CARRASCAL	CUOTA DE RECICLAJE	CUOTA DE RECICLAJE SIN CARRASCAL
Escenario 1	6.131	193	113	3,1 %	1,8 %
Escenario 2	6.566	193	113	2,9 %	1,7 %

## 5.5 EL QUE COMPRA NO ES EL QUE ELIMINA

Es fundamental saber quién está desechando equipos computacionales y en qué cantidades, a fin de establecer soluciones adecuadas al problema de los RE en Chile. Según se ha mostrado en páginas anteriores, una gran cantidad de equipos computacionales es reutilizada. Al mismo tiempo, las instituciones gubernamentales y las grandes empresas casi no instalan equipos usados. En su mayor parte, entonces, los equipos son reutilizados —y finalmente descartados— por pequeñas empresas y hogares.

A fin de cuantificar quiénes están realizando el tratamiento final de los equipos, y en qué cantidades, se debió formular un supuesto referente a la reutilización de computadores. Sobre la base de opiniones expertas, se asumió que 40 por ciento de los equipos computacionales es reutilizado por empresas pequeñas, y 60 por ciento por hogares.<sup>14</sup> La figura a continuación presenta un cálculo de los porcentajes relativos al momento de la compra y al del tratamiento final de equipos computacionales:



<sup>14</sup> Diversas estimaciones expertas (por ejemplo, de Biobío y San Diego).

Figura 5-12 Compra y descarte de equipo computacional (en cantidades)

Claramente se puede observar que los compradores de equipo computacional no son necesariamente los mismos que realizan su tratamiento final. Más bien, hay un flujo neto desde las instituciones gubernamentales y empresas a los hogares. Como resultado, los hogares desechan aproximadamente 50 por ciento, la mayor proporción de equipos computacionales. En conjunto, los hogares y las pequeñas empresas descartan casi el 90 por ciento del total de computadores. Esta observación es de gran importancia cuando el punto es cómo enfrentar el problema de los RE en Chile.

## 5.6 RECUPERACIÓN DE MATERIALES DE RESIDUOS COMPUTACIONALES

La siguiente tabla da una idea sobre qué cantidad de materiales podría ser recuperada de los residuos computacionales entre 2007 y 2020. El cálculo se basa en las cantidades acumulativas de residuos computacionales según el escenario 2, y los contenidos relativos de equipos computacionales según el análisis de SWICO (2006).<sup>15</sup>

Tabla 5-4  
Posible recuperación de materiales a partir de residuos computacionales, 2007-2020

[EN TONELADAS]	EQ. DE ESCRITORIO	PORTÁTILES	CRT	LCD	TOTAL
Metales	85.061	5.325	4.514	8.871	103.770
Plásticos	6.380	3.062	18.055	8.131	35.628
Mezclas metal-plásticos	1.063	1.730	1.003	0	3.797
Cables	2.127	133	0	0	2.260
Tableros de circuito	10.633	1.464	0	1.971	14.068
Contaminantes	1.063	1.065	0	0	2.128
Vidrio	0	532	26.581	5.667	32.781

Fuente: Análisis de la composición de computadores (SWICO 2006)

La tabla siguiente muestra un análisis más detallado de la presencia de algunos metales y contaminantes seleccionados en los residuos de equipos de escritorio y CRT en Chile, de 2007 a 2020.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Véase Anexo F para la composición promedio de equipos computacionales.

<sup>16</sup> Estas cifras debieran verse como una aproximación, por dos razones: primero, no está claro cómo cambiará la composición de los equipos computacionales en el futuro; segundo, el precio de los metales puede variar de manera importante.

Tabla 5-5  
Metales y contaminantes seleccionados presentes en residuos de equipos de escritorio y CRT, 2007-2020

SUSTANCIAS	PORCENTAJE EN UN COMPUTADOR DE ESCRITORIO PROMEDIO CON UN MONITOR CRT	EN TONELADAS	EN US\$ / TON*	VALOR EN MILLONES DE US\$
<i>Metales</i>				
Hierro	20,47	32.031	?	?
Aluminio	14,17	22.173	2.849	63
Zinc	2,20	3.443	3.772	13
Cobre	6,93	10.842	8.050	87
Oro	0,0016	2,5	21.801	55
<i>Contaminantes</i>				
Plomo	6,30	9.856		
Mercurio	0,0022	3,4		
Cadmio	0,0094	14,7		
Arsénico	0,0013	2,0		
TOTAL:				241

Fuente: Microelectronics and Computer Technology Corporation (1996); véase también: [http://ewasteguide.info/valuable\\_materials\\_in\\_e\\_waste](http://ewasteguide.info/valuable_materials_in_e_waste)

\* basado en precios de los metales en julio 2007; véase <http://www.n-tv.de/rohstoffe> y <http://www.metalprices.com/>

Es, así, obvio que mejorar la infraestructura de reciclaje representa no solo un avance hacia mejores prácticas medioambientales, sino también un paso hacia mayor eficiencia en lo relativo a los materiales. Dependiendo del costo que pueda tener el tratamiento adecuado de contaminantes, el reciclaje de RE puede incluso significar un oportunidad en el ámbito de los negocios.

## 6 DISCUSIÓN

---

### 6.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y CALIDAD

#### 6.1.1 Literatura

La información recopilada a través de la investigación en la literatura parece ser bastante confiable, en especial la información cualitativa sobre diversos actores; por ejemplo, autoridades medioambientales.

Las principales fuentes de información cuantitativa fueron la International Data Corporation y el Servicio Nacional de Aduanas de Chile. Pareciera, por tanto, información confiable, aunque se desconoce qué nivel de cuidado han puesto estas instituciones en la recopilación de su información.

#### 6.1.2 Cuestionario

En lo relativo al trabajo con el cuestionario, puede concluirse que se trata de un método interesante, dado que entrega resultados detallados de muchos aspectos concernientes al mercado de computadores. Es, por lo tanto, una buena manera de obtener información nueva, que puede no ser obtenible por otras vías.

Las principales desventajas encontradas fueron:

- *Es trabajo-intensivo.* Una parte importante del tiempo de investigación se usó para elaborar y probar los cuestionarios, y enviarlos a distintos actores. Se requirió tiempo adicional para hacer el seguimiento de los cuestionarios y evaluar si habían sido completados correctamente.
- *Requiere una muestra de tamaño representativo.* A fin de obtener resultados representativos, la muestra debe incluir a todas las clases sociales relevantes (hogares) o todos los actores relevantes (industria). Más aún, el tamaño de la muestra debiera ser mayor que en este estudio. Sin embargo, esto implica una importante inversión de tiempo.
- *Los encuestados pueden no comprender.* Otra dificultad que se encontró fue que las preguntas no eran bien comprendidas por todas las personas entrevistadas. Mientras los cuestionarios parecían fáciles de completar para los responsables en las instituciones, los sujetos privados solían tener dificultad para entender algunas de las preguntas (por ejemplo, ensamblaje local sin marca propia). Puede, entonces, que un cuestionario que evalúa el comportamiento de los hogares en tanto consumidores no deba incluir las mismas preguntas técnicas que se hacen en los otros ámbitos.
- *El encuestado puede no querer admitir ciertos aspectos.* Esto fue válido con respecto a la pregunta sobre cómo descartaban sus equipos las instituciones. Aunque el cuestionario era anónimo, puede suponerse que algunos actores no querían admitir sus prácticas relativas al tratamiento final de RE.

La información de este estudio recopilada con la ayuda del cuestionario no debe ser considerada de valor indicativo. No obstante, creemos que la evaluación combinada de los datos entregados por el cuestionario y las entrevistas a expertos entrega información bastante confiable y útil para una investigación preliminar.

### 6.1.3 Entrevistas

Las entrevistas resultaron extremadamente útiles para este estudio, por las siguientes razones:

- Fueron una manera eficiente de reunir información de expertos con considerables conocimientos en sus respectivas áreas.
- Las opiniones expertas ayudaron a validar los datos de los cuestionarios.
- Las personas entrevistadas a menudo posibilitaron nuevos contactos y contribuyeron a este estudio con sus ideas.

Un efecto secundario de las entrevistas fue, más aún, que hasta cierto punto despertaron la conciencia sobre el tema del reciclaje de los RE (por ejemplo, con las autoridades medioambientales).

No obstante, no toda la información proveniente de entrevistas personales parecía ser suficientemente precisa. Algunos datos simplemente no estaban disponibles, o no lo estaban con gran precisión, y los entrevistados simplemente hacían estimaciones o suponían cosas (por ejemplo, las cantidades de residuos computacionales reciclados se basan en estimaciones de las empresas recicladoras).

## 6.2 MODELO

El análisis de flujo de materiales ha sido usado antes en estudios similares para estimar las cantidades de RE y es, por lo tanto, un método establecido. Como lo muestran los resultados, se puede obtener una visión cabal del funcionamiento del mercado de computadores, y realizar análisis detallados de los componentes individuales. Al mismo tiempo, la confiabilidad de los resultados del modelo depende de la calidad de sus supuestos y de la información disponible.

### 6.2.1 Calidad de los supuestos y debilidad del modelo

Aunque el modelo ofrece una herramienta poderosa para el análisis del mercado de computadores, descansa en ciertos supuestos que pueden no reflejar la realidad.

Los principales supuestos son:

- *El modelo mismo.* El supuesto fundamental es el diseño del modelo mismo: los procesos y los flujos conectores. Debiera compararse diversos modelos y sería necesaria información para una adecuada validación, a fin de evaluar si el modelo representa correctamente al mercado. Como en estudios anteriores se ha utilizado modelos muy semejantes, no se ha investigado la forma en que un modelo diferente afectaría los resultados (aparte del modelo simple).
- *Tiempos de uso constantes.* Ha habido una disminución generalizada de los ciclos de vida útil de los computadores en los últimos años (Kang & Schoenung 2006); sin embargo, no está claro si esto es válido también para Chile, dado que aún es un país en desarrollo. Por lo tanto, los tiempos de uso de todo el periodo de simulación se mantuvieron constantes.
- *Coefficientes de transferencia constantes.* Lo mismo se aplica a los coeficientes de transferencia, aunque es menos probable aún que hayan permanecido constantes. Un buen ejemplo es el porcentaje de computadores comprados por hogares. Los productores de computadores declararon que a comienzos de los años noventa, la principal venta de computadores era a instituciones, mientras hoy en día los individuos privados desempeñan un papel mucho más importante.

En cuanto a la influencia de los tiempos de uso y coeficientes de transferencia, las pruebas del modelo indicaron que la influencia general de los tiempos de uso era significativamente mayor que la de los coeficientes de transferencia.

Una debilidad obvia del modelo es que no muestra claramente las cantidades de computadores instalados en las reparticiones gubernamentales, empresas y hogares. Esto se debe al hecho de que parte del equipo instalado en esos ámbitos está en el proceso de reutilización, que no distingue entre actores.

Sin embargo, si se diseñara el modelo de forma que el proceso de reutilización no mantuviera equipos en existencia, y en cambio los devolviera a los actores, se perdería información acerca de cuántos equipos están en reutilización en un momento determinado. Sigue teniéndose así una cosa por otra, al menos hasta que se desarrolle un modelo más complejo (por ejemplo, con tres procesos separados para reutilización).

### **6.2.2 Comparación con el modelo simple**

La comparación con el modelo simple mostró que, hasta cierto grado, se puede obtener resultados similares con modelos menos complejos. Dado que no se contaba con información disponible para una verdadera validación, tampoco se cuenta con información disponible sobre hasta qué punto cualquiera de los modelos difiere de la realidad. No obstante, podría valer la pena realizar nuevas investigaciones que permitan ver hasta qué punto se puede simplificar el modelo utilizado en este estudio, sin una pérdida de precisión significativa.

### **6.2.3 Calidad de las predicciones**

En cuanto a la certeza de las predicciones hechas en este estudio, pareciera que el modelo AFM permite hacerlas de manera bastante confiable. Aunque es verdad que la validación de la información solo pudo hacerse en un rango limitado, los escenarios dan una idea sobre cómo pueden ser un mejor caso y un peor caso. Respecto del peor caso, debiera considerarse que se asumió que los ciclos de vida útil eran muy cortos. Es probable, entonces, que en la realidad los flujos actuales y futuros de residuos computacionales estén más cerca de los escenarios 1 y 3.

Más aún, incluso si la información cuantitativa no es absolutamente precisa, la exactitud que presenta satisface ampliamente el propósito de este estudio, que es comprender la magnitud del problema de los RE en Chile.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### **¿A cuánto asciende la generación de RE actual y la futura?**

Junto con el auge que experimenta el mercado de las TIC en Chile, se incrementarán los flujos de residuos computacionales a una tasa alarmante de 10 por ciento durante la próxima década, duplicando la velocidad de los flujos de residuos domésticos gestionados por las municipalidades. Tal como lo muestran las predicciones del modelo, en 2007 se transformaron en RE más de 300 mil computadores de escritorio y portátiles. Esto se incrementará todavía más, a 1,7 millones de computadores anuales, en el año 2020.

Desde el punto de vista del peso —debido al cambio de tecnología hacia equipos más livianos—, la cantidad de residuos computacionales solo se triplicará, de 7 mil toneladas en 2007 a 20 mil toneladas en 2020. La generación acumulativa de residuos computacionales hasta 2006 ha sido de aproximadamente 25 mil toneladas. Esto parece casi insignificante comparado con las aproximadamente 215 mil toneladas que serán generadas desde ahora al año 2020. Más aún, como los equipos computacionales solo representan una fracción de los RE, nos esperan aún mayores problemas.

### **¿Qué ocurre con los residuos computacionales?**

Aunque aún está subdesarrollada una gestión comprensiva de los RE, en Chile han ocurrido algunos cambios importantes en el último tiempo. Antes que todo, el reacondicionamiento sin fines de lucro, como el que lleva a cabo Todo Chilenter, ha significado una alternativa social y medioambientalmente responsable para los computadores obsoletos de las instituciones públicas y privadas.

En segundo lugar, existen las empresas formales en el rubro del reciclaje, que se han fijado buenos estándares medioambientales y han logrado autorización para sus actividades. Aunque esto representa un paso importante en la dirección correcta, la diferencia entre recicladores formales e informales es todavía pequeña. Entretanto, la diferencia de costos entre el reciclaje formal y el informal es enorme. Esto sugiere la necesidad de llevar a cabo un análisis de costos a fin de hacer más competitivo el reciclaje adecuado y, de esta forma, más atractivo. En 2007, solo entre 1,5 y 3 por ciento de los residuos computacionales generados será reciclado adecuadamente.

Al mismo tiempo, el destino de la gran mayoría de residuos computacionales sigue incierto. Aunque es evidente que —debido a los valiosos materiales presentes en los computadores— el reciclaje informal desempeña un papel importante, no se ha revelado con precisión el destino final de las sustancias peligrosas existentes en los computadores. Se supone que, en el mejor de los casos, terminan en el flujo de residuos domésticos manejados por las municipalidades, al igual que una parte importante de los computadores obsoletos de los hogares. No es necesario decir que esto representa una situación insostenible respecto de la salud pública y medioambiental.

### **¿Cómo puede resolverse el problema de los RE?**

Antes que todo, se requieren nuevas investigaciones que den luz sobre el destino actual de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), y el concomitante daño ambiental. Se deberá encontrar

soluciones para manejar los residuos computacionales provenientes de hogares, que en la actualidad representan el mayor flujo de RE, o cerca de 60 por ciento de la cantidad total. Así, la educación medioambiental y el establecimiento de una infraestructura de reciclaje conveniente desempeñarán un papel clave en el logro de mejores cuotas de reciclaje.

Más importante aún, habrá que elaborar un marco legal comprensivo para la gestión de RE, donde se defina el tratamiento adecuado de los RAEE y se incluya el concepto de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). La industria de las TIC y Organizaciones de Responsabilidad del Productor tendrán que asumir su parte de responsabilidad y participar activamente en este proceso, especialmente debido a su experiencia internacional con REP. Más aún, deberán activarse otros públicos y sociales vinculados a esta materia, como la Subsecretaría de Telecomunicaciones y la Agenda Digital. Después de todo, el desarrollo sostenible en la era de la información solo se puede alcanzar si se gestionan responsablemente los productos obsoletos de las TIC.

## REFERENCIAS

---

- Aduana. (2007). "ESTACOMEX – Información estadística de comercio exterior", en [www.aduana.cl](http://www.aduana.cl)
- Baccini, P. & H.-P. Bader (1996). *Regionaler Stoffhaushalt, Erfassung, Bewertung und Steuerung*. Heibelberg; Berlin; Oxford: Spektrum Akademischer Verlag GMBH.
- Brunner, P. H. & H. Rechberger (2003). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Chiletech (2007a). "IDC informa que Chile lidera penetración de notebooks en la región". Recuperado 04/07/2007, en <http://www.chiletech.cl/link.cgi/Empresas/I/IDC/18890>. [Nota: Este vínculo ya no existe. En cambio está [www.chiletech.com](http://www.chiletech.com), en construcción: 05/08/2008, 17:13 hrs.]
- (2007b). "Nokia y Movistar entregan más de 15 mil celulares para reciclaje", en <http://www.chiletech.cl/link.cgi/Empresas/N/Nokia/19332>. Nota: Este vínculo ya no existe. En cambio está [www.chiletech.com](http://www.chiletech.com), en construcción: 05/08/2008, 17:14 hrs.]
- CNC (Cámara Nacional de Comercio) (2004). *Mercado de Computadores Personales y Servidores, 2000–2004*, Cámara Nacional de Comercio.
- & International Data Corporation (IDC) Chile (2002). *Desarrollo de las Tecnologías de la Información en Chile*. Santiago: Depto. Estudios CNC & IDC Chile.
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) (2007). "Gestión de Residuos Sólidos", en <http://www.conama.clportal/1301/article-34647.html>.
- GTZ (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit / Cooperación Alemana) (2006). *Abfallwirtschaft in Chile. Eine situationsbeschreibung*. GTZ and Deutsch-Chilenische Industrie – und Handelskammer.
- ISI (Indicador de la Sociedad de la Información) (2006). *Situación de las Tecnologías de la Información en Argentina, Brasil, Chile y México*. Edición junio 2006. IESE Business School / Universidad de Navarra. En [http://www.iese.edu/es/files/5\\_23293.pdf](http://www.iese.edu/es/files/5_23293.pdf).
- Kang, H.-Y. & J. M. Schoenung (2006) "Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California". *Journal of Hazardous Materials*, vol. B137: 1165-1174.
- Matthews, H. S., F.C. McMichael, et al. (1997). "Disposition and End-of-life Options for Personal Computers". *Carnegie Mellon Green Design Initiative technical report 91-10*. Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University.
- Microelectronics and Computer Technology Corporation (1996). *Electronics Industry Environmental Roadmap*. Austin, TX: Microelectronics and Computer Technology Corp (MCC).
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (2001). *Extended Producer Responsibility. A Guidance Manual for Governments*. Paris: OECD.
- (2005). *Evaluaciones del desempeño ambiental – Chile*. Santiago: CEPAL / OCDE.
- (2007). "DAC (Development Assistance Committee) List of ODA (Official Development Assistance) recipients".
- Ministerio de Salud, Chile (2004). *Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos*. Santiago: Departamento de Salud Ambiental, División Rectoría y Regulación Sanitaria, Ministerio de Salud.
- Seremisalud (Secretaría Ministerial Regional de Salud) (2007). *Normativas*, en <http://www.seremisaludrm.cl/sitio/pag/residuos/indexjs3residuosnorm001.asp>.
- SWICO (Swiss Association for Information, Communication and Organization Technology) (2006). *Tätigkeitsbericht 2006*. S.K. Umwelt.
- United Nations (1992). *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal*. U. Nations, Secretariat of the Basel Convention.
- WHO (World Health Organization) (1993). *Guidelines for Drinking-water Quality*. 2<sup>nd</sup> ed. Geneva: WHO.
- World Bank (2007). *Key Development Data & Statistics*, en [www.worldbank.com](http://www.worldbank.com).

## **ANEXOS**

---

- Anexo A. Entrevistas
- Anexo B: Cuestionario
- Anexo C: Resultados del cuestionario
- Anexo D: Escenarios
- Anexo E: Resultados del modelo
- Anexo F: Composición del equipo computacional

## A. ENTREVISTAS

PERSONA	INSTITUCIÓN	OBJETIVO
PRODUCTORES DE COMPUTADORES		
Axel Heilenkotter	Hewlett Packard	Reunir información sobre el mercado de computadores y responsabilidad corporativa medioambiental.
Christian Álvarez	IBM	
Sandra Olguín	Olidata	
GOBIERNO		
Eduardo Carter	Comisión Nacional de Energía	Recopilar información del cuestionario, y otra.
Pablo Quintana	Comisión Nacional del Medio Ambiente	
EMPRESAS		
César Maldonado	AES Gener S.A.	Recopilar información del cuestionario, y otra.
Roberto Giadach	Consortio Nacional de Seguros	
Gregorio Guerrero	Nestlé	
REACONDICIONADORES		
Rubén Martínez Muñoz	Todo Chilenter	Aprender acerca del reacondicionamiento sin fines de lucro.
Anónimos	Latin Computer Chile Ltda	Recopilar información sobre reacondicionamiento y ensamblaje local sin marca propias.
Anónimos	CSByte	
Hector Herrera	Servicio técnico	
Oscar Torres	Servicio técnico	
Anónimos	Otros servicios técnicos	
Anónimos	Refly Chile Ltda	
RECICLADORES		
Sr. Gastón Herrera	Carrascal	Recopilar información acerca de la situación relativa al reciclaje de RE.
Mitzzy Lagos	Comec	
Gabriel Pérez Juan Carlos Perez	Degraf	
Juan Sequel	Punto limpio Vitacura	
Fernando Nilo	Recycla	
OTRAS INSTITUCIONES		
Raúl Ciudad Verena Fuhrmann	ACTI	Juntar información sobre ACTI / establecer contactos con empresas para los cuestionarios.
Joost Meijer Claudia Guerrero	Comisión Nacional del Medio Ambiente	Recopilar información sobre Conama y la situación de RE.
Paola Ángel	Comisión Regional del Medio Ambiente	Recopilar información sobre Corema y la situación de RE.
Wilfred Adelsdorfer Velasco	Aduana	Recopilar información sobre la importación de equipos computacionales.
Elke Hüttner Alvaro Zurita	GTZ	Juntar información sobre reciclaje en general.

## **B CUESTIONARIO**

Figura B.1 El cuestionario utilizado en este estudio

**ESTÁ EN ARCHIVO EXCEL: [Cuestionario](#)**

## C RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

Tabla C1. Datos generales del Anexo C

Temas que se consolidan aquí	Grupos que se analizan	Cantidad analizada
Tipo de equipamiento en uso	Instituciones gubernamentales	2
Adquisición de los equipos: nuevo, usado, <i>leasing</i>	Grandes empresas	5
Origen del equipo: importación, comercio, ensamblaje local	Pymes	14
Ciclo de vida útil del equipo en la institución	Pymes (ACTI)	9
Tiempo promedio de almacenamiento, si se lo almacenó	Pymes (no ACTI)	5
Destino de equipos computacionales obsoletos	Hogares	22

Tabla C2. Tipo de equipo computacional en uso (en porcentajes)

Tipo de equipo computacional en uso (en porcentajes)				
	De escritorio (%)	Portátiles (%)	CRT (%)	LCD (%)
Gobierno	96	4	76	24
Grandes empresas	69	31	71	29
Pymes	71	29	77	23
Pymes (ACTI)	73	28	80	20
Pymes (no ACTI)	61	39	57	43
Hogares	67	33	77	23

Tabla C3. Adquisición de equipo computacional (en porcentajes)

Adquisición de equipo computacional (en porcentajes)					
	De escritorio (%)	Portátiles (%)	CRT (%)	LCD (%)	
nuevo	100	100	100	100	Gobierno
usado	0	0	0	0	
<i>leasing</i>	0	0	0	0	
nuevo	66	60	66	66	Grandes empresas
usado	0	0	0	0	
<i>leasing</i>	34	40	34	34	
nuevo	91	88	94	92	Pymes
usado	2	3	6	0	
<i>leasing</i>	7	9	0	8	
nuevo	86	88	90	89	Pymes (ACTI)
usado	3	0	10	0	
<i>leasing</i>	11	13	0	11	
nuevo	100	89	100	100	Pymes (no ACTI)
usado	0	9	0	0	
<i>leasing</i>	0	2	0	0	
nuevo	66	86	57	100	Hogares
usado	34	14	43	0	

Tabla C4. Origen del equipo computacional

Origen equipo computacional: importación, comercio, ensamblaje local (en porcentajes)					
	De escritorio (%)	Portátiles (%)	CRT (%)	LCD (%)	
importación	100	100	100	100	Gobierno
comercio	0	0	0	0	
ensamblaje local con marca	0	0	0	0	
ensamblaje local sin marca propia	0	0	0	0	
importación	80	100	100	92	Grandes empresas
comercio	0	0	0	8	
ensamblaje local con marca	0	0	0	0	
ensamblaje local sin marca propia	20	0	0	0	
importación	37	58	33	43	Pymes
comercio	30	42	58	57	
ensamblaje local con marca	16	0	0	0	
ensamblaje local sin marca propia	17	0	8	0	
importación	52	75	43	56	Pymes (ACTI)
comercio	22	25	43	44	
ensamblaje local con marca	0	0	0	0	
ensamblaje local sin marca propia	26	0	14	0	
importación	10	32	20	20	Pymes (no ACTI)
comercio	44	68	80	80	
ensamblaje local con marca	44	0	0	0	
ensamblaje local sin marca propia	2	0	0	0	
importación	8	31	19	0	Hogares
comercio	38	31	50	67	
ensamblaje local con marca	21	23	31	0	
ensamblaje local sin marca propia	33	15	0	33	

Tabla C5. Ciclo de de vida útil de equipos computacionales (en años)

Ciclo de vida útil de equipos computacionales (en años)s					
	De escritorio	Portátiles	CRT	LCD	
nuevo	3,5	4	4,5	4,5	Gobierno
<i>leasing</i>	N.A.	N.A	N.A	N.A	
usado	N.A.	N.A	N.A	N.A	
nuevo	3,8	4,2	4,6	4,4	Grandes empresas
<i>leasing</i>	3,7	3,7	5,0	4,3	
usado	3,0	3,0	3,0	3,0	
nuevo	4,3	3,4	5,1	4,7	Pymes
<i>leasing</i>	3,7	3,7	4,0	3,7	
usado	2,0	2,0	4,0	4,0	
nuevo	3,9	3,1	4,9	4,4	Pymes (ACTI)
<i>leasing</i>	3,0	3,0	3,0	3,0	
usado	2,0	2,0	4,0	4,0	
nuevo	5,0	3,8	5,4	5,2	Pymes (no ACTI)
<i>leasing</i>	4,0	4,0	4,0	4,0	
usado	2,0	2,0	4,0	4,0	
nuevo	6,0	5,2	5,7	5,4	Hogares
usado	4,2	4,1	4,0	4,6	

Tabla C6. Tiempo promedio de almacenamiento (en años)

Tiempo promedio de almacenamiento, en años, si se almacenó				
	De escritorio	Portátiles	CRT	LCD)
Gobierno	N.A.	N.A	N.A	N.A
Grandes empresas	1,0	1,0	1,0	1,0
Pymes	2,1	1,3	2,3	1,0
Pymes (ACTI)	2,5	2,0	3,0	3,0
Pymes (no ACTI)	1,7	1,0	1,7	1,0
Hogares	6,2	3,0	4,3	3,0

Tabla C7. Destino de equipos computacionales obsoletos (en porcentajes)

Destino de equipos computacionales obsoletos (en porcentajes)					
	De escritorio	Portátiles	CRT	LCD	
Almacenamiento	0	0	0	0	Gobierno
Venta	0	0	0	0	
Donación	100	100	100	100	
Residuo	0	0	0	0	
Reciclaje	0	0	0	0	
Otro	0	0	0	0	
Almacenamiento	0	0	0	0	Grandes empresas
Venta	47	47	47	47	
Donación	31	31	31	31	
Residuo	0	0	0	0	
Reciclaje	2	2	2	2	
Otro	20	20	20	20	
Almacenamiento	21	29	27	18	Pymes
Venta	33	27	32	27	
Donación	25	21	27	32	
Residuo	4	0	0	9	
Reciclaje	15	4	12	5	
Otro	2	19	2	9	
Almacenamiento	22	36	29	17	Pymes (ACTI)
Venta	34	18	42	33	
Donación	28	21	16	25	
Residuo	1	0	1	0	
Reciclaje	13	7	8	8	
Otro	3	18	4	17	
Almacenamiento	20	20	24	20	Pymes (no ACTI)
16	30	40	20	20	
Donación	20	20	40	40	
Residuo	10	0	0	20	
Reciclaje	20	0	16	0	
Otro	0	20	0	0	
Almacenamiento	25	0	57	0	Hogares
Venta	13	0	14	14	
Donación	13	43	7	14	
Residuo	13	29	0	0	
Reciclaje	8	0	7	14	
Otro	29	43	14	57	

Tabla C8. Preguntas adicionales en el cuestionario

<b>¿Sabía usted que los computadores contienen elementos que son tóxicos para el medio ambiente?</b>						
	Instituciones gubernamentales	Grandes empresas	PYMES	PYMES (ACTI)	PYMES (no-ACTI)	Hogares
Sí	100%	100%	80%	100%	50%	91%
No	0%	0%	20%	0%	50%	9%

<b>¿Sabía usted que el reciclaje de computadores produce componentes que pueden venderse?</b>						
	Instituciones gubernamentales	Grandes empresas	PYMES	PYMES (ACTI)	PYMES (non-ACTI)	Hogares
Sí	100%	100%	93%	100%	80%	86%
No	0%	0%	7%	0%	20%	14%

<b>¿Tiene su institución algún procedimiento establecido para el manejo de los residuos electrónicos?</b>					
	Instituciones gubernamentales	Grandes empresas	PYMES	PYMES (ACTI)	PYMES (non-ACTI)
Sí	100%	60%	21%	33%	0%
No	0%	40%	79%	67%	100%

<b>Si no lo tiene, ¿tiene su institución entre sus planes introducir un procedimiento para el manejo de los residuos electrónicos?</b>					
	Instituciones gubernamentales	Grandes empresas	PYMES	PYMES (ACTI)	PYMES (non-ACTI)
Sí	100%	100%	55%	50%	60%
No	0%	0%	45%	50%	40%

<b>¿Estaría usted dispuesto(a) a pagar para asegurar un reciclaje adecuado?</b>						
	Instituciones gubernamentales	Grandes empresas	PYMES	PYMES (ACTI)	PYMES (non-ACTI)	Hogares
Sí	100%	100%	31%	25%	40%	41%
No	0%	0%	69%	75%	60%	59%

<b>Su institución, ¿cuenta con una certificación ISO 14001?</b>					
	Instituciones gubernamentales	Grandes empresas	PYMES	PYMES (ACTI)	PYMES (non-ACTI)
Sí	0%	20%	8%	13%	0%
No	100%	80%	92%	88%	100%

**¿Cuáles son los principales obstáculos para un reciclaje adecuado?**

	Instituciones gubernamentales	Grandes empresas	Pymes	Pymes (ACTI)	Pymes (no-ACTI)	Hogares
Costo	100%	40%	36%	44%	20%	41%
Falta de políticas en la institución	100%	20%	7%	11%	0%	N.A.
Falta de posibilidades / infraestructura para reciclaje	50%	40%	14%	11%	20%	41%
Falta de legislación	50%	100%	36%	22%	60%	23%
Otro	50%	20%	29%	33%	20%	5%

## D ESCENARIOS

Tabla D1. Resumen de los datos de entrada del modelo para los escenarios 1–4

### Coefficientes de transferencia para equipos computacionales en el modelo

ESCENARIO		Información recopilada (1)				Información recopilada y correcciones (2)				Mejor caso (3)				Peor caso (4)			
de	a	E	P	CRT	LCD	E	P	CRT	LCD	E	P	CRT	LCD	E	P	CRT	LCD
Producción y venta	Gobierno	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	Empresas	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
	Hogares	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%
Gobierno	Almacenam. tras 1 <sup>er</sup> uso	0%	0%	0%	0%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	10%	10%	10%	10%
	Reutilización	100%	100%	100%	100%	50%	50%	50%	50%	60%	60%	60%	60%	30%	30%	30%	30%
	Eliminación / Reciclaje	0%	0%	0%	0%	30%	30%	30%	30%	20%	20%	20%	20%	60%	60%	60%	60%
Empresas	Almacenam. tras 1 <sup>er</sup> uso	14%	19%	18%	12%	15%	20%	15%	20%	14%	19%	18%	12%	10%	10%	10%	10%
	Reutilización	72%	77%	73%	78%	65%	65%	65%	65%	72%	77%	73%	78%	30%	30%	30%	30%
	Eliminación / Reciclaje	14%	3%	9%	10%	20%	15%	20%	15%	14%	3%	9%	10%	60%	60%	60%	60%
Hogares	Almacenamiento 1	25%	0%	57%	0%	35%	45%	35%	45%	35%	40%	35%	40%	35%	35%	35%	35%
	Reutilización	54%	71%	36%	86%	50%	50%	50%	50%	55%	55%	55%	55%	30%	30%	30%	30%
	Eliminación / Reciclaje	21%	29%	7%	14%	15%	5%	15%	5%	10%	5%	10%	5%	35%	35%	35%	35%
Reutilización	Almacenam. tras 2 <sup>o</sup> uso	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	70%	70%	70%	70%	30%	30%	30%	30%
	Eliminac. / Reciclaje	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	30%	30%	30%	30%	70%	70%	70%	70%

### Ciclo de vida útil de equipos computacionales por proceso [en años]

ESCENARIO		Información recopilada				Información recopilada y correcciones				Mejor caso				Peor caso			
		E	P	CRT	LCD	E	P	CRT	LCD	E	P	CRT	LCD	E	P	CRT	LCD
	Gobierno	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	3	3	4	4
	Empresas	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	3	3	4	4
	Hogares	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	4	4	4	4
	Reutilización	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	2	2	3	3
	Almacenam. tras 1 <sup>er</sup> uso	3	2	3	2	3	3	3	3	4	4	4	4	2	2	2	2
	Almacenam. tras 2 <sup>o</sup> uso	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2
	<i>Ciclo de vida promedio</i>	8,1	7,5	9,0	9,2	7,7	7,7	8,7	9,0	9,4	9,8	10,0	10,1	4,6	4,6	5,5	5,5

### Tasa de crecimiento del mercado de computadores: 2008–2020

ESCENARIO		Información recopilada				Información recopilada y correcciones				Mejor caso				Peor caso			
	Tasa de crecimiento	10%				10%				5%				15%			

## E RESULTADOS DEL MODELO (NO PRESENTADOS ANTES)

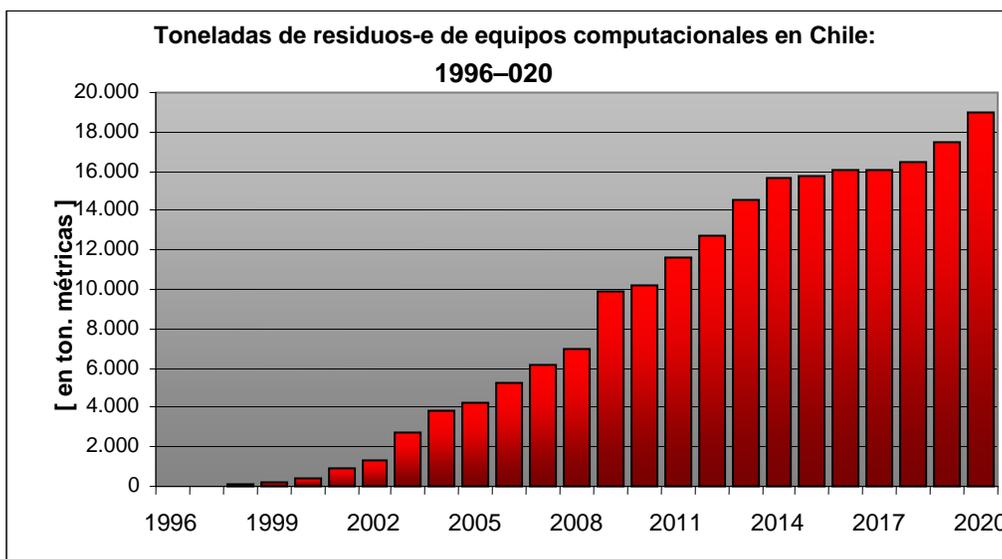


Figura E1. Cantidad de residuos-e de equipos computacionales en Chile, 1996-2020

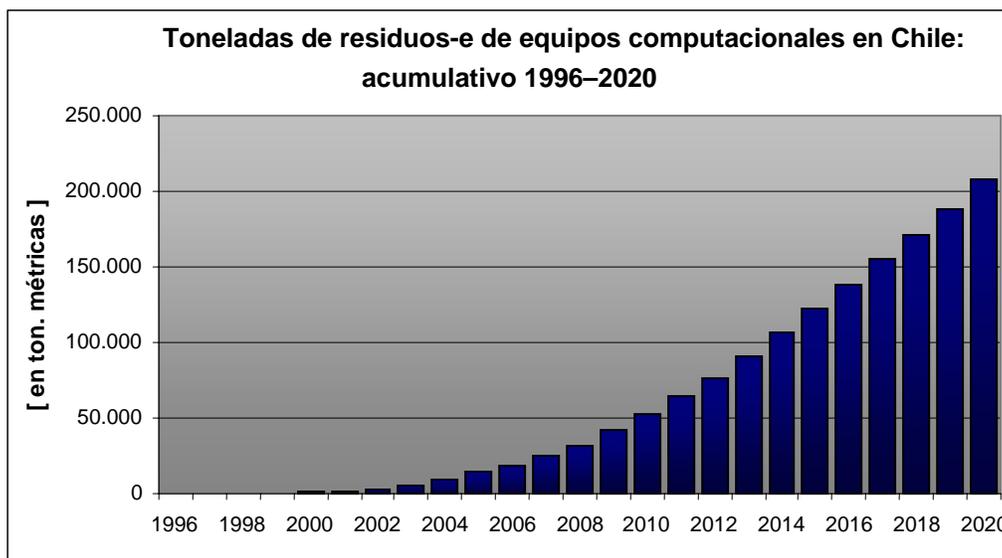


Figura E2. Cantidad acumulativa de residuos-e de equipos computacionales en Chile, 1996-2020

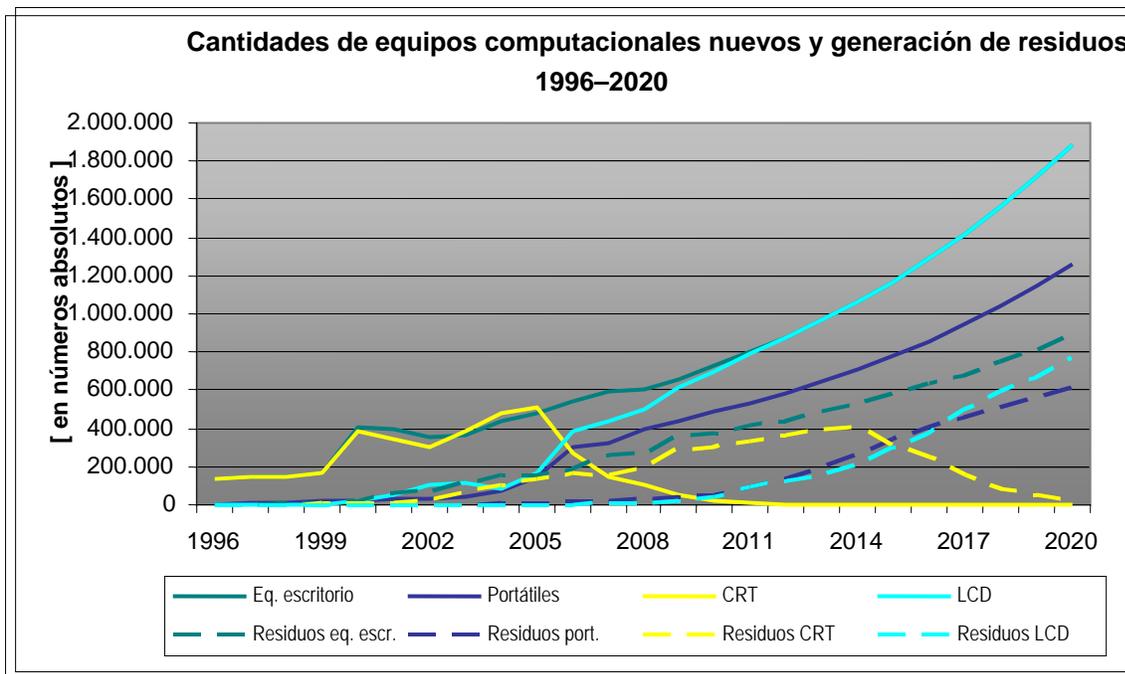


Figura E3. Cantidad de computadores nuevos y residuos computacionales en Chile (en número), 1996–2020

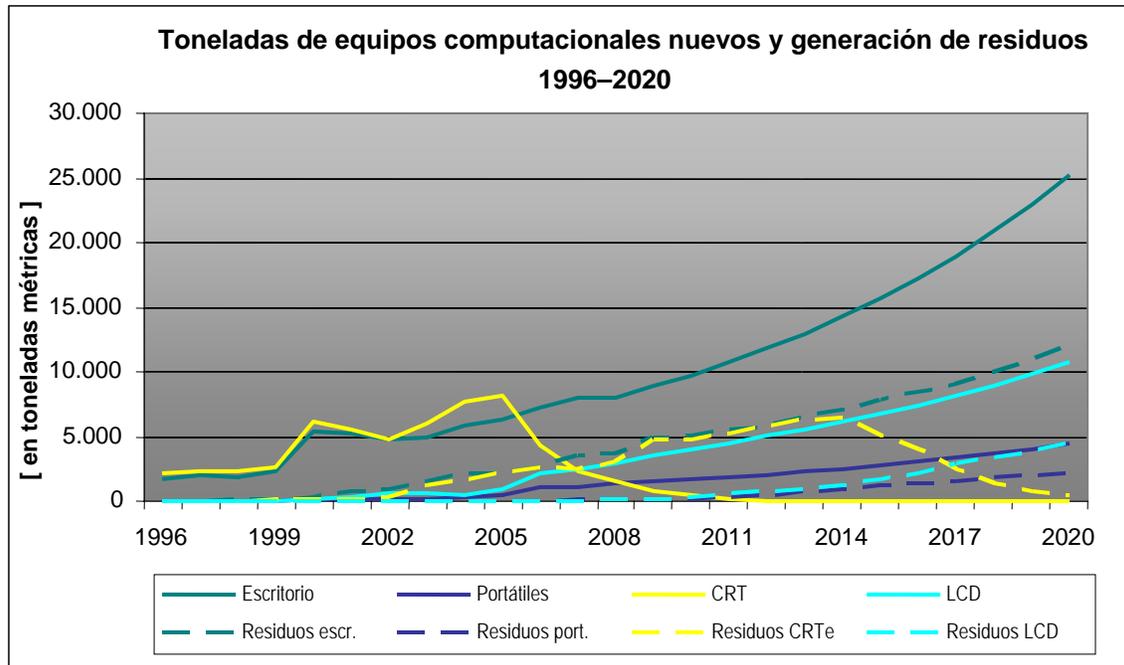


Figura E4. Cantidad de computadores nuevos y residuos computacionales en Chile (en peso), 1996–2020

**F COMPOSICIÓN DE EQUIPOS COMPUTACIONALES**

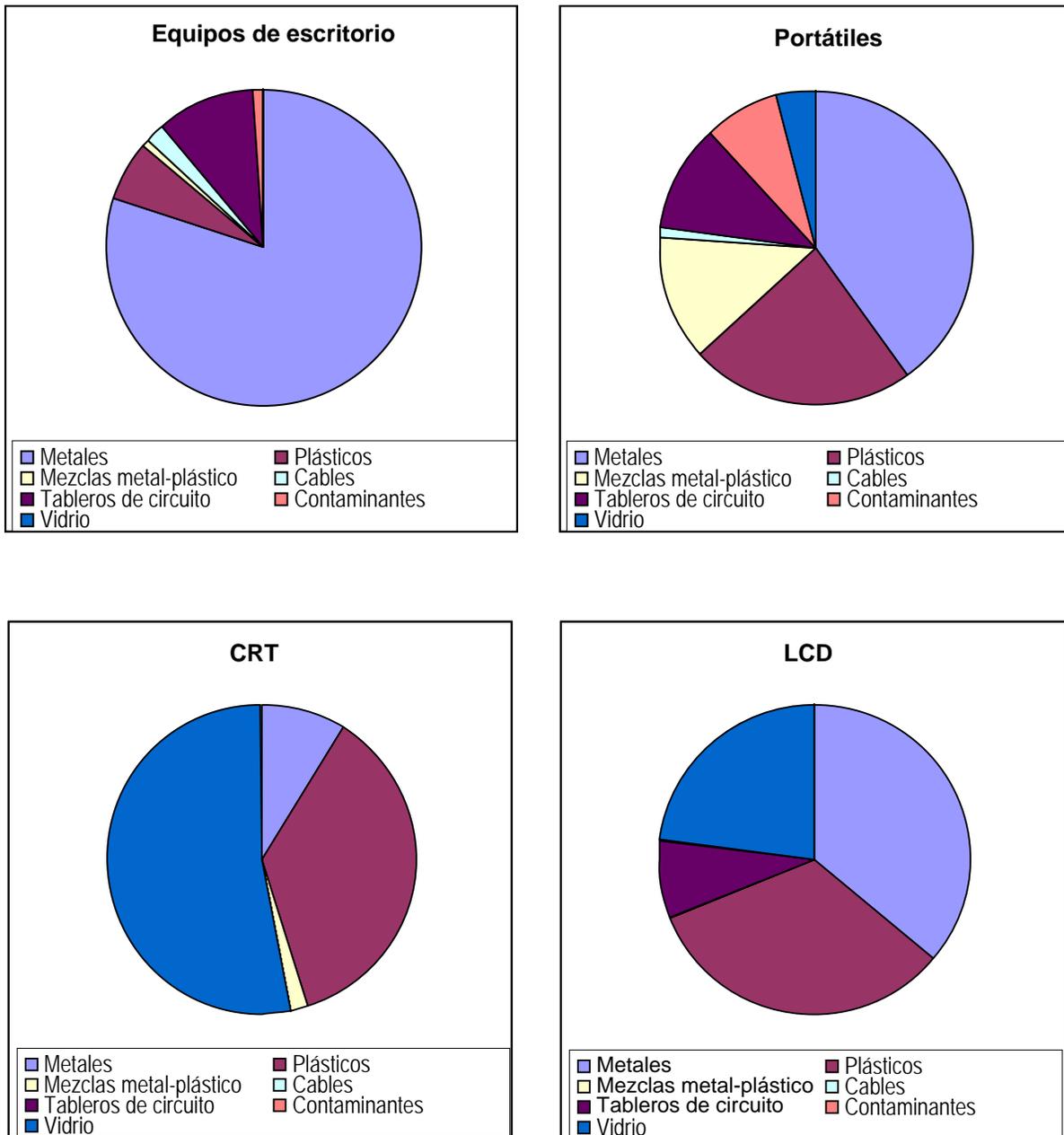


Figura F1. Composición promedio de equipos de escritorio, portátiles, CRT y LCD

Fuente: SWICO (2006)