

## **Extensión de la vida útil de residuos informáticos mediante la selección de Sistemas Operativos que maximicen el aprovechamiento del Hardware**

Rodríguez, Eduardo; Deco, Claudia; Burzacca, Luciana; del Giglio, Cristian; Bender, Cristina; Costa, Santiago

Facultad de Química e Ingeniería del Rosario. Pontificia Universidad Católica Argentina  
Av. Pellegrini 3314, (2000) Rosario, Santa Fe, Argentina  
{ejrodriguez, cdeco, lucianaburzacca, cbender}@uca.edu.ar

**Resumen.** Los Residuos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) tienen un crecimiento exponencial y constante, que produce un gravísimo impacto ambiental y pérdida económica ocasionada a partir de su no reutilización y su no reciclado. Anualmente se generan millones de desperdicios dentro de esta categoría y la velocidad con la que avanza la tecnología hace que diariamente se incorporen mayor cantidad de dispositivos. En la Argentina todavía existe poca conciencia sobre la importancia de este tema. Existen oportunidades para que dispositivos desechados, luego de un tratamiento adecuado, puedan ser reutilizados con distintos fines. Con este propósito se está trabajando en un Proyecto de Investigación en nuestra Universidad cuyo objetivo general es la elaboración de propuestas de acción para la puesta en marcha de un Sistema Integral de Gestión de RAEE para la región. Dentro de este proyecto, uno de los aspectos a considerar es la extensión de la vida útil de equipos de computación personal. Actualmente se estima que las empresas para mantenerse competitivas y actualizadas reemplazan sus equipos de computación en un plazo de entre tres y cuatro años enfrentándose al problema de donde disponer adecuadamente de sus equipos. En este trabajo se propone analizar, seleccionar y testear distribuciones capaces de maximizar los recursos disponibles en equipos de computación personal que extiendan la vida útil de estos equipos, permitiendo así su reutilización con el fin de lograr un impacto positivo en la Sociedad y al mismo tiempo reducir los residuos electrónicos. Se realiza un análisis cuantitativo y cualitativo y como parte de la solución se analiza el mercado actual de Sistemas Operativos preseleccionando aquellos con características enfocadas en un mínimo consumo de recursos y un máximo aprovechamiento de las capacidades de hardware. Se seleccionaron cuatro sistemas: Puppy XenialPup 7.5, Elive 3.0.2, Bodhi 5.0 apppack, Linux Mint 19 Tara - Xfce (32-bit). De acuerdo a la experimentación realizada se determinó a Linux Mint 19 Tara - Xfce (32-bit) como la más óptima. Los resultados obtenidos muestran que existen distribuciones de sistemas operativos adecuadas para enfrentar el desafío planteado en computadoras de más de ocho años de antigüedad.

**Palabras claves:** RAEE; Residuos Electrónicos; Gestión; Reutilización de PCs; Sistemas Operativos.

## 1 Introducción

En la Argentina todavía existe poca conciencia sobre la importancia que posee el tema de los Residuos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Este tipo de residuos tiene un crecimiento exponencial y constante. Produce un gravísimo impacto ambiental y pérdida económica ocasionada a partir de su no reutilización y su no reciclado. Anualmente se generan millones de desperdicios dentro de esta categoría y la velocidad con la que avanza la tecnología hace que diariamente se descarten mayor cantidad de dispositivos. Existen oportunidades para que los dispositivos desechados, luego de un tratamiento adecuado, puedan ser reutilizados con distintos fines.

Según la Universidad de Naciones Unidas (UNA) en 2017 prácticamente la mitad de la población mundial utilizaba internet y la mayor parte de los habitantes del planeta tenían acceso a redes y servicios móviles. Disponer de más de un dispositivo tecnológico y el acortamiento de ciclos de sustitución de los teléfonos móviles genera más residuos [1]. Cabe destacar que solamente el 20% de éstos, puede convertirse en residuo reciclable para su posterior uso. A nivel mundial, sólo constan como recuperadas y recicladas 8,9 MT de residuos electrónicos, lo que corresponde al 20% del total de residuos electrónicos generados. El bajo índice de recuperación comparado con la cantidad total de RAEE generados se explica en parte por el hecho que sólo 41 países disponen de estadísticas oficiales sobre los residuos electrónicos.

Respecto a Argentina, se generan aproximadamente un promedio de 8,7 kilos de RAEE por persona; convirtiéndose en tercer lugar, como mayor generador de residuos asociados a toda América Latina con hasta 500.000 toneladas registradas hasta el año 2017. Actualmente, en la región de la provincia de Santa Fe, con una población de 2.024.478 habitantes, según el último censo realizado por el INDEC en 2010, sólo un 46,31% tiene acceso a equipos de computación en su hogar, lo que representa 473.796 hogares. Si llevamos estos números a nivel país, los mismos se encuentran en línea con la provincia con sólo 46,86% de hogares que poseen computadoras. En la ciudad de Rosario, se llevó adelante un estudio [2] para conocer el volumen de residuos informáticos y de telecomunicaciones generado en esta ciudad, resultando el 16,23% del total anual de RAEE en Argentina. Este valor se infirió desde los informes realizados por la Cámara Argentina de Multimedia, Ofimática, Comunicaciones y Afines (CAMOCA) [3]. En dicho artículo [2] se obtuvo un factor de generación de 1,41 kg./hab, lo cual infiere para la población de Rosario un total de 115.811,06 Kg/mes de residuos informáticos. Sin embargo, en Rosario sólo se recolectan 3.375 Kg/mes de este tipo de residuos, lo que representa un 3,24% del total de residuos informáticos generado. Esto demuestra la enorme oportunidad que existe en el campo de la reutilización de equipos informáticos que, con un tratamiento, gestión y logística adecuadas, sumadas a la correcta selección de un Sistema Operativo que maximice y extienda su vida útil, podrían reinsertarse en distintos ámbitos y tener un impacto positivo en la sociedad.

La velocidad con la que avanzan las tecnologías informáticas hace que los componentes tecnológicos tengan un alto grado de obsolescencia tecnológica en un corto período. Actualmente se estima que las empresas, para mantenerse competitivas y actualizadas, con un entorno seguro y con usuarios con un nivel adecuado de productividad, reemplazan sus equipos de computación personal en un plazo de entre tres y cuatro años [4,5].

A nivel nacional aún no se cuenta con una ley que encuadre el tema de los residuos electrónicos, se perdió en 2012 el estado parlamentario que permitiría tratar la “Ley de

basura electrónica” [6]. En la provincia de Santa Fe se avanzó en cuanto a la presentación de un proyecto de ley que contempla los RAEEs dentro de los cuales se encuentran las computadoras personales y laptops objetos de este estudio (Anexo I A y Anexo I B de dicho proyecto de ley). Particularmente en la provincia los tratadores autorizados son unos pocos y éstos se enfrentan a un problema de capacidad dado que como se mencionó, el ciclo de vida y volumen de equipos hacen que esto sea un desafío también para los actuales tratadores de residuos que en su mayoría se encuentran trabajando al tope de su capacidad. Este es otro hecho que demuestra el por qué es sumamente importante recuperar equipos y realizar una reinserción responsable de los mismos en la sociedad.

Por su parte, las empresas no se encuentran ajenas a esta problemática y enfrentan dificultades similares para disponer adecuadamente de sus equipos. En la actualidad disponen de cuatro alternativas: Venta de equipos entre sus colaboradores, Donación de equipos, Disposición responsable de equipos o la Empresa no toma acción alguna. Esto último impacta directamente en la responsabilidad empresarial sobre el medio ambiente ya que el espacio físico que los mismos ocupan se torna finito y el control de activos es engorroso y costoso. Un punto importante a considerar es que las empresas dedicadas al tratamiento de residuos tienen otro limitante, son aranceladas por lo cual las empresas y gobiernos se ven en la obligación de afrontar un costo cuando podrían avanzar con donación de equipos si los dotaran de un Sistema Operativo capaz de recuperar el potencial de los mismos que en otros ambientes han llegado a un nivel de obsolescencia determinado. Este trabajo se enfoca en seleccionar, analizar y testear distribuciones de sistemas operativos que extiendan la vida útil de los equipos de computación personal permitiendo su reutilización con el fin de lograr un impacto positivo en la Sociedad.

## 2 Marco Conceptual

El sistema operativo (SO) es el software básico que controla una computadora. A grandes rasgos tiene tres grandes funciones: coordinar y manipular el hardware del sistema informático (memoria, impresoras, unidades de almacenamiento, periféricos, etc.), organizar los archivos en los dispositivos de almacenamiento y gestionar los diferentes errores que se generen. El SO es en sí mismo un programa, pero un programa muy especial y quizás el más complejo e importante. Cuando se conecta un ordenador se carga parte del sistema operativo en la memoria y se ejecuta. GNU/Linux, también conocido como Linux, es un sistema operativo libre tipo Unix, multiplataforma, multiusuario y multitarea. Cabe señalar que existen derivados de Linux que no tienen componentes GNU (por ejemplo, Android), así como distribuciones de GNU donde Linux está ausente (por ejemplo, Debian GNU/Hurd). A GNU/Linux se le encuentra normalmente en forma de compendios conocidos como distribuciones, a las cuales se les han adicionado selecciones de aplicaciones y programas para descargar e instalar. El propósito de una distribución es ofrecer GNU/Linux como un producto final que el usuario pueda instalar, cumpliendo con las necesidades de un grupo de usuarios o bien del público general.

En la actualidad no existen estudios formales que aborden la reinserción y/o reutilización de equipos informáticos por parte de empresas que en lugar de disponer los mismos recuperen y entreguen los mismos a la sociedad. Según estudios de Camoca [3] se sabe que en la actualidad los residuos electrónicos en Argentina ascienden a 21.010.000 de equipos relacionados a computación personal. Si tomamos como punto de partida el año 2015 se ve

un crecimiento de 10% en equipos en desuso en 2016 y un 13% en 2017, esto muestra un incremento anual en la cantidad de equipos en desuso. Si realizamos el análisis en kilos de material los porcentajes también son crecientes año tras año, 5% para los años 2015 al 2016 y 11% entre 2016 y 2017. Esta tendencia sigue acelerándose año tras año. El objetivo general de nuestro proyecto es la elaboración de propuestas de acción para la puesta en marcha de un Sistema Integral de Gestión de RAEE para la región. Dentro de esto se propone seleccionar, analizar y testear distribuciones de sistemas operativos que extiendan la vida útil de los equipos de computación personal permitiendo así su reutilización con el fin de lograr un impacto positivo en la Sociedad y al mismo tiempo reducir los RAEE, cuyos resultados se presentan en este trabajo.

### 3 Análisis y Selección de Sistemas Operativos

En este trabajo se analizan distintas alternativas de Sistemas Operativos (SO) que permitirán recuperar equipos de la obsolescencia y realizar un ranking que destaque y clasifique los mismos. Para esto se realiza un análisis cuantitativo y cualitativo y como parte de la solución se analiza el mercado actual de SO pre seleccionando aquellos con características enfocadas en un mínimo consumo de recursos y un máximo aprovechamiento de las capacidades de hardware. Se propone realizar tests de performance que demuestren las distintas características de los SO seleccionados. Para esto, se preparó un laboratorio de computadoras con distintas arquitecturas y componentes de hardware.

Se analizaron 28 distribuciones de Linux entre las cuales se seleccionaron cuatro: Bodhi Linux 5.0.0-64, Puppy XenialPup 7.5, Elive 3.0.2 y Mint 19 "Tara" - Xfce (32-bit). Estos SO fueron seleccionados teniendo en cuenta características esenciales para el desarrollo del trabajo y la recuperación de hardware obsoleto.

Entre estas características se encuentran: Soporte para 32 bits, Diversidad de versiones, Requerimientos de hardware, Versiones actualizadas y Documentación. Luego de analizar distintas alternativas como Live CD, USB, y SO que se ejecutan en memoria, se optó por realizar la instalación del sistema operativo en los equipos, lo que aporta robustez, estabilidad, soporte para el guardado de archivos y una menor complejidad cuando se piensa en un entorno estable como puede ser un centro de cómputos de una institución educativa, además de reducir la cantidad de ítems necesarios, DVD's y/o USB sticks para cada equipo, reduciendo costos y cantidad de potenciales puntos de falla.

Para las pruebas se preparó un laboratorio con conexión a Internet, tomas de energía, CD / DVD, Sticks USB, computadoras y notebooks. Para las demostraciones se utilizaron equipos de distintas generaciones donde las computadoras debían pasar el siguiente Check List como una precondition antes de iniciar la instalación de una distribución de SO en un determinado equipo.

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de Check List para las condiciones. Luego, para todas las distribuciones se chequearon las siguientes post condiciones finalizada la instalación de un equipo según se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 1.** Check List de las Pre-Condiciones

Check List PRE-CONDICIONES		
Número de serie del equipo	NNNNN	
Nombre del técnico	CDG	
Hora de inicio de prueba		12:32
Estado general del equipo	Muy buen estado general	
Ingresar al BIOS	OK	
Ejecutar test de startup	OK	
Ejecutar test de memoria	OK	
Ejecutar test de disco rígido	OK	
Habilitar booteo via CD/DVD	OK	
Habilitar booteo via USB	OK	
Otros comentarios	El USB lee OK La lectora de DVD lee OK	
Describir problema identificado	N/A	
Tiempo de las pruebas		00:26

**Tabla 2.** Check List de las Post-Condiciones

Check List POST-CONDICIONES		
Número de serie del equipo	NNNNN	
Nombre del técnico	CDG	
Fecha de inicio de prueba		22/11/2018
Hora de inicio de prueba		19:22
Tiempo de encendido		01:20
Superficie del disco	OK	
Memoria	OK	
Video	OK	
Sonido	OK	
USB-1	OK	
USB-2	Problema identificado	
USB-3	No aplica	
Red LAN	OK	
Red WiFi	OK	
Lector de CD/DVD	Problema identificado	
Otro periférico	Web Cam OK	
Ejecución de LibreOffice	OK	
Reinicio del equipo	OK	
Otros comentarios		
Describir problema identificado	El USB no lee La lectora de DVD no lee	
Tiempo de las pruebas		01:38

Con los cuatro SO seleccionados para evaluar, se desarrollaron pruebas focalizadas en las siguientes categorías, considerando los aspectos indicados en cada categoría:  
 - Experiencia del usuario: Simplicidad para la descarga, Documentación de soporte disponible, Facilidad de instalación, Interfaz de usuario, Asistente para configuración de funcionalidades, y Variedad y Calidad de aplicaciones incluidas en la distribución.

- Estabilidad: Cantidad de operaciones por hora sin reinicio, Cloud computing y sincronización con Google Drive & Sync, Disponibilidad de versiones actualizadas, Disponibilidad de seguridad incluida (firewall, antivirus, otros), Soporte para UEFI.
- Performance: Cantidad de versiones disponibles, Utilización del CPU, Utilización de memoria, Utilización de disco (I/O), Utilización de red, y Navegación por Internet.

Luego de completar la instalación del SO en un equipo, se realizaron controles de performance durante 3 días que permitieron indicar a qué tipo de usuario puede ser destinado el equipo. Finalizado este control, el equipamiento estaba listo para su donación.

## 4 Resultados

Para avanzar con la constatación de la hipótesis de trabajo se desarrollaron diversos tests y matrices para identificar a la mejor versión de SO para recuperar equipos obsoletos. En la siguiente tabla se presentan los resultados de los tests de performance que miden la utilización de memoria y el porcentaje de procesamiento utilizado durante la ejecución de aplicaciones de ofimática además de conectividad y navegación web. Otros valores medidos fueron el tiempo de inicio (booteo) del SO y el tiempo de reinicio (ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Comparativo de performance de las distribuciones Linux seleccionadas

Equipo	HP EliteBook 840 G3	HP EliteBook 8440p	HP EliteBook 8440p	Compaq 6910p
CPU	Intel Core i5 vPro 2.4GHz	Intel Core i5 2.4GHz	Intel Core i5 2.4GHz	Intel Core i5 2.4GHz
RAM	8 GB	2 GB	2 GB	2 GB
Distribución	Win 10x64 Enterprise	Win 7	Mint	Mint
Antigüedad	2 años	8 años	8 años	11 años
Uso de Memoria	38%-3GB (office) 41%-3.3GB (web)	50%-1GB (office) 65%-1.3GB (web)	16%-1GB (office) 28%-0.5GB (web)	18%-0.36GB (office) 30%-0.6GB (web)
Uso de CPU	36% (office) 56% (web)	30% (office) 56% (web)	12% (office) 28% (web)	10% (office) 30% (web)
Tiempo de booteo	00:00:28	00:01:15	00:00:57	00:01:05
Tiempo de Reinicio	00:00:45	00:01:23	00:01:07	00:01:13

En la Tabla 4 se muestra el resultado de las pruebas realizadas a las distribuciones Linux seleccionadas. Los menores valores significan una mejor performance del equipo y su distribución de SO. En la medición de performance o “Uso de CPU”, se evidencia claramente como la utilización del SO Linux Mint 19 "Tara" - Xfce (32-bit) otorga valores óptimos sobre hardware de once años equiparando y/o superando la performance de un equipo de la actualidad.

Por lo tanto, para la recuperación del hardware obsoleto se propone utilizar la distribución Linux Mint 19 Tara - Xfce (32-bit), que demostró una performance superior al

resto de las distribuciones analizadas.

**Tabla 4.** Resultado de las pruebas realizadas a las distribuciones Linux seleccionadas.

Distribución Linux	Bodhi	Puppy	Mint	Elive
<b>Estabilidad</b>				
Operación x hs. sin reinicio	< 8hs.	>8hs.	> 8hs.	< 8hs.
Cloud computing y sincronización (con Google Drive & Sync)	No posee herramientas de backup ni sync.	Posee herramientas de backup ni sync	Posee herramientas de backup ni sync	Posee herramientas de backup ni sync
Disponibilidad de versiones actualizadas	Sí. Ultima versión Ago. 18. Parches System Updater	Sí. Ultima versión Nov. 17. Parches XenialPup updates	Sí. Ultima versión Jun. 18. Administrador de actualizaciones	Sí. Ultima versión Set. 18. Parches XenialPup updates
<b>Promedio / Ranking</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>5</b>
<b>Performance</b>				
Cantidad versiones disponibles	8	8	8	9
Utilización CPU	7	8	7	8
Utilización Memoria	6	9	7	8
Utilización Red	6	7	8	8
Navegación por Internet	7	8	7	8
<b>Promedio</b>	<b>6,833</b>	<b>8,000</b>	<b>7,500</b>	<b>8,167</b>
<b>Experiencia del usuario</b>				
Simplicidad para la descarga	9	8	9	7
Documentación de soporte disponible	7	7	9	7
Facilidad de instalación	8	7	8	7
Interfaz de usuario (Escritorio)	7	8	8	9
Aplicaciones incluidas en la distribución (Variedad/Calidad)	6	8	9	8
<b>Promedio</b>	<b>7,333</b>	<b>7,667</b>	<b>8,500</b>	<b>7,500</b>
<b>Calificación final</b>	<b>5,722</b>	<b>7,556</b>	<b>8,000</b>	<b>6.889</b>

## 5 Conclusiones

La evaluación de los resultados se realizó mediante un análisis cuantitativo y cualitativo. Como parte de la solución se analizó el mercado actual de Sistemas Operativos pre-seleccionando aquellos con características enfocadas en un mínimo consumo de recursos y un máximo aprovechamiento de las capacidades de hardware con más de diez años de antigüedad. En particular, del análisis de los distintos Sistemas Operativos se seleccionaron cuatro distribuciones: Puppy XenialPup 7.5, Elive 3.0.2, Bodhi 5.0 apppack, Linux Mint 19

Tara - Xfce (32-bit). De acuerdo a la experimentación realizada se determinó a Linux Mint 19 Tara - Xfce (32-bit) como la más óptima. Así mismo, es válido destacar que las distribuciones Puppy XenialPup 7.5 y Elive 3.0.2 también cumplirían con lo planteado en este proyecto, aunque con la limitante de acotar su uso a hardware de no más de diez años de antigüedad para mantener una óptima performance.

## Referencias

1. Fiori, V; Baldé, C.; Kuehr, R.; Bel, G. Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020. Cantidades, flujos y potencial de la economía circular. Universidad de las Naciones Unidas (UNU)/Instituto de las Naciones Unidas para Formación Profesional e Investigaciones (UNITAR) – coorganizadores del programa SCYCLE, Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), Bonn/Ginebra/Rotterdam. (2020).
2. Majul, M.F., Santillán R, Hernández, J.Rodríguez, E., Burzacca, L., Deco, C., Bender, C., Costa, S. Logística de Recolección para la Gestión de Residuos Informáticos. En Anales de 49 Jornadas Argentinas de Informática (JAIIO), Simposio Argentino de Informática Industrial e Investigación Operativa. Organizada por SADIO y Facultad de Ingeniería de la UBA. (2020).
3. Cámara Argentina de Multimedia, Ofimática, Comunicaciones y afines. CAMOCA. Disponible en: <http://www.camoca.com.ar/>. Consultado 10/10/2020
4. Fernández Protomastro, G. Buenas Prácticas para la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos - RAEE. 1a ed. CABA: Grupo Uno. 178 p. ISBN 978-987-29862-3-0. Argentina (2014)
5. Fernández Protomastro, G. Minería Urbana y la Gestión de los Residuos Electrónicos. 1a ed. CABA: Grupo Uno. 317 p. ISBN 978-987-29862-1-6. Argentina (2013)
6. Basura Electrónica, Disponible en <http://www.greenpeace.org/argentina/es/campanas/contaminacion/basura-electronica/> Consultado 03/12/2020