

Logística de Recolección para la Gestión de Residuos Informáticos

Juan Manuel Hernández, M. Florencia Majul, Ricardo Santillán, Eduardo Rodríguez,
Luciana Burzacca, Claudia Deco, Cristina Bender, Santiago Costa.

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. Este trabajo presenta una propuesta de un sistema de gestión integral de Residuos Informáticos y Telecomunicaciones (RAEIT) en la cual hemos realizado un trabajo sobre la logística de recolección de los citados residuos en la ciudad de Rosario. Basándonos en un proyecto de Ley y suponiendo la implementación del mismo se calcularon los volúmenes de RAEIT generados en la ciudad y se propone una mejora en la gestión de recolección. Se implementaron nuevos centros verdes de recolección, se evaluaron nuevas alternativas de transporte de forma segura tanto para las personas como para los residuos y se adoptó un centro de acopio para su disposición final, teniendo como objetivo final generar un sistema eficiente de recolección de RAEIT, contribuyendo así en el cuidado de nuestra ciudad. Para lograr esto se estimó el volumen de RAEIT generado en la ciudad, se analizó la logística que actualmente se utiliza y se propuso una mejora en la gestión de recolección y transporte de los mismos.

Palabras claves: Logística, Recolección, Residuos Informáticos, RAEIT, Rosario.

Abstract. This work presents a proposal for a comprehensive management system for Computer Waste and Telecommunications (WEEEIT) in which we have carried out work on the logistics of collecting the aforementioned waste in the city of Rosario. Based on a Law and assuming its implementation, the volumes of WEEE generated in the city were calculated and an improvement in collection management is proposed. New green collection centers were implemented, new transportation alternatives were evaluated in a safe way for both people and waste, and a collection center was adopted for their final disposal, with the final objective of generating an efficient WEEE collection system, thus contributing in the care of our city. To achieve this, the volume of WEEE generated in the city was estimated, the logistics that are currently used were analyzed and an improvement in the management of their collection and transport was proposed.

Keywords: Logistics, Collection, Computer Waste, WEEE, Rosario

1. Introducción

Los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) son aparatos que funcionan con corriente eléctrica o campos electromagnéticos y que se utilizan con una tensión nominal menor a 1.000V en corriente alterna y 1.500V en corriente continua; también son aquellos aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos. Esto incluye desde electrodomésticos a equipos de informática y telecomunicaciones, aparatos de iluminación, herramientas eléctricas o equipos médicos. Un AEE se convierte en un Residuo de Aparato Eléctrico y Electrónico (RAEE) cuando el usuario lo descarta sin intención de que vuelva a utilizarse. La vida útil varía considerablemente según el tipo de aparato y de factores como la existencia de una cultura de la reutilización, la facilidad de acceso a nuevas tecnologías, la situación económica, entre otros. Los AEE son aparatos complejos que incluyen numerosas partes y componentes de materiales muy diversos. Algunos con alto valor de mercado, como chatarra ferrosa y plástica, aluminio, oro, plata o estaño, y otros que pueden ser riesgosos para los ecosistemas y las personas, como plomo, compuestos fluorocarbonados, mercurio, entre otros. Esto hace que, por un lado, cuando un AEE se descarta tenga sentido recuperar los materiales y componentes valiosos para reinsertarlos en el ciclo productivo - algunas estimaciones indican que el 97% de los componentes y materiales contenidos en un AEE son recuperables o reciclables. Al mismo tiempo, resulta imprescindible hacer una gestión adecuada que minimice los riesgos ambientales. La gestión de los RAEE representa un problema creciente en un mundo donde el recambio tecnológico es cada vez más acelerado y en el que apenas una fracción mínima de los mismos se recicla o refuncionaliza. Se estima que el 50% de estos residuos están arrumbados en oficinas, hogares, entes públicos o depósitos; más del 40% se entierra o se descarta en basurales y rellenos y cerca del 10% ingresa en esquemas informales o formales de gestión de residuos [1].

En la Argentina, ésta tampoco es una problemática menor: según los datos del Observatorio Mundial de Residuos Electrónicos [2] se generan anualmente alrededor de 8,4 kg de RAEE por persona. Si se multiplica por los 42 millones de habitantes, se obtiene unas 360 mil toneladas de RAEE generados anualmente. Fernández Protomastro [3][4] estima que entre 50 y 60% de este volumen (entre 180 y 216 mil toneladas) es almacenado en hogares y pequeñas instituciones por desconocimiento sobre el procedimiento de descarte. Entre el 10% y 15% llega a talleres de reparación y servicios técnicos y entre el 5% y 10% se recicla para recuperar materiales. Luego de pasar un tiempo almacenado o de atravesar las distintas etapas de recuperación, se calcula que un 60% de los RAEE termina en basurales o rellenos sanitarios.

La ciudad de Rosario desde hace unos años experimenta tendencia de crecimiento de basura informática que se recepciona en los centros de distritos: en el 2017 se recolectaron 9.072 aparatos (que representan 40,5 toneladas de residuos), mientras que en el 2016 fueron 7.612. Respecto al volumen de RAEE generado en la ciudad a partir de los informes de RAEE 2018 [5] elaborado por la Cámara Argentina de Multimedia, Ofimática, Comunicaciones y Afines (CAMOCA) se infiere dicho valor de residuos que se generan en la ciudad de Rosario. Actualmente Rosario genera un total de 104.267,77 Kg/mes de RAEE y teniendo en cuenta la información sobre la recolección del año 2017 de 40.500Kg., se concluye que los distritos recolectan

3.375Kg/mes, lo que implicaría tan sólo un 3.24% del total generado.

Respecto a los productores, no existe al momento entidad que regule o controle el impacto ambiental de lo producido a lo largo del tiempo, ya que éstos sólo producen en función de la demanda sin contemplar la disposición de los productos ya obsoletos o próximos al final de su vida útil. Argentina posee regulaciones dispersas y no homogéneas. A nivel nacional, con respecto a RAEE nos encontramos con que no hay ninguna ley vigente. Actualmente hay registrados dos proyectos de ley de presupuestos mínimos de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la Cámara de Diputados: el Proyecto 0072-D-2018 presentado por el Dip. Villalonga y el Proyecto 5563- D-2018 presentado por el Dip. Filmus. Ambos proyectos incorporan el principio político de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) y ponen foco en incorporar el análisis de Ciclo de Vida de un producto.

Este trabajo tiene por objetivo estimar el volumen de RAEE de la ciudad de Rosario, analizar la logística que actualmente se utiliza y proponer una mejora en la gestión de recolección y transporte de los mismos. Se delimita el estudio a la gestión de la recolección y transporte únicamente de los Residuos Informáticos y de Telecomunicaciones (RAEEIT) a través del análisis de la fuente generadora (productor, distribuidor y consumidor).

2. Desarrollo del Problema

Como punto de partida es fundamental tener conocimiento sobre el volumen de RAEEIT generado en la ciudad. El mismo lo obtuvimos por inferencia a partir del informe de RAEE 2018 elaborado por CAMOCA. Este informe es realizado a nivel nacional tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Volumen y Clasificación de RAEE, según informe de CAMOCA

CLASIFICACION DE RAEE						
Sistemas de Impresión	EN USO 2018	DESUSO 2018	m ³ /U.	m ³ DESUSO 2018	Kgs/U.	Kgs DESUSO 2018
Fotocopiadoras y Copiadoras	210.000,00	46.000,00	0,40957	18.840,00	74,00	3.404.000,00
Impresoras	4.700.000,00	380.000,00	0,27793	105.613,00	7,00	2.660.000,00
Multifunción	5.000.000,00	620.000,00	0,04500	27.900,00	8,00	4.690.000,00
Otros sistemas de Impresión	2.100.000,00	1.005.000,00	0,03500	35.175,00	3,00	3.015.000,00
Total Parcial	12.010.000,00	2.051.000,00		187.529,00		14.039.000,00
Otros Equipos Electrónicos	EN USO 2018	DESUSO 2018	m ³ /U.	m ³ DESUSO 2018	Kgs/U.	Kgs DESUSO 2018
Calculadoras de Bolsillo	7.600.000,00	1.890.000,00	0,00030	567,00	0,20	378.000,00
Comunicaciones	21.500.000,00	4.100.000,00	0,00600	24.600,00	0,60	2.460.000,00
Teléfonos	21.000.000,00	6.000.000,00	0,00231	13.860,00	0,60	3.600.000,00
Teléfonos inalámbricos	3.800.000,00	310.000,00	0,00120	372,00	0,70	217.000,00
Teléfonos Cehilares	46.000.000,00	24.000.000,00	0,00007	1.680,00	0,20	4.800.000,00
Cámaras Digitales Fotos / Films	5.500.000,00	1.680.000,00	0,00108	1.814,00	0,60	1.008.000,00
Centrales Telefónicas	1.900.000,00	970.000,00	0,00364	3.531,00	1,80	1.746.000,00
Total Parcial	107.300.000,00	38.950.000,00		46.424,00		14.209.000,00
TOTAL ANUAL DE RAEE EN ARGENTINA [Kg]						400.000.000,00
TOTAL ANUAL DE RAEE A INVESTIGAR EN ARG. [Kg] (RAEEIT)						64.918.000,000
PORCENTAJE (64.918.000,00 x 100) / (400.000.000,00)						16,23

Considerando sólo la categoría de RAEEIT que son de nuestro interés (residuos informáticos y de telecomunicaciones) obtuvimos un porcentaje de 16,23%. Con estos datos (Kgs DESUSO 2018) podemos obtener el factor de generación (FG) de RAEEIT. Cada argentino se estima que genera 8.7Kg de RAEE de un total aproximado de 400,000 toneladas al año [6] [7], en relación con los Kg de RAEE a investigar (RAEEIT). Tenemos:

$$FG = \frac{\text{Total Anual de RAEE a Investigar en Arg.} * \text{Cant. Generado por Hab. en Arg.}}{\text{Total Anual de RAEE en Arg.}}$$

$$FG = \frac{64.918.000 \text{ Kg} * 8,7 \text{ Kg}}{400.000.000 \text{ Kg}} = 1,41 \text{ Kg}$$

Usando este factor de generación de RAEEIT (1.41 kg/Hab) se obtiene un total de 115,811.055 Kg/mes de RAEEIT generados en Rosario según su población y distritos se genera la siguiente Tabla 2.

Tabla 2. Población por distrito de Rosario.

Población por Distrito	Habitantes	Área (Km ²)	Porcentaje Área (%)	Kg RAEE / Año (Hab.*1,41)	KG RAEE / Mes
Centro	253.499	20,66	11,56	357.433,59	29.786,1325
Norte	143.070	34,88	19,52	201.728,70	16.810,7250
Noroeste	178.157	43,82	24,52	251.201,37	20.933,4475
Oeste	138.825	40,42	22,62	195.749,25	16.311,93,75
Sudoeste	120.299	20,13	11,27	169.621,59	14.135,1325
Sur	151.776	18,78	10,51	214.004,16	17.833,6800
TOTAL	985.626	178,69	100,00	1.389.732,66	115.811,0550

Disponiendo de información sobre la recolección del año 2017 de 40.500Kg (1) RAEEIT, se concluye que los distritos sólo recolectan 3.375Kg/mes de RAEEIT que implicaría un 3.24% del total de RAEEIT generado (correspondería a lo generado por 31900 habitantes).

Análisis de la Situación actual de la Recolección Diferenciada:

Se realizó un estudio geográfico con la herramienta Google Maps para identificar correctamente el alcance de las zonas. Se demarcaron puntos que unidos forman un área y se identificaron a aquellos distribuidores que ocupan una superficie cubierta destinada a la exposición y venta de más de 500 m², ya que en los proyectos de ley se define que deben de disponer de un sitio para la recepción de los correspondientes RAEE. Se los considera en esta investigación posibles nuevos Centros Verdes. Ellos son (Fig. 1): Centro verde Musimundo (distrito norte), Centro verde Air Computers (distrito centro), Centro verde Musimundo (distrito sur), Centro verde D' Ricco (distrito noroeste), Centro verde D' Ricco (distrito oeste) y Centro verde Outlet de Electro-domésticos (distrito sudoeste). Además, en Rosario también existe una planta de gestión de residuos llamada Nodo Tau, en convenio con el programa provincial Nueva Oportunidad, inaugurada recientemente, de 500 m² de superficie ubicada en el barrio Fisherton Industrial. Sus objetivos son dar tratamiento ambientalmente responsable a equipamiento informático en desuso y brindar empleo particularmente para la población joven. Esta planta es apropiada para nuestro proyecto y la consideraremos

como centro de origen o punto de referencia para la gestión de logística.



Fig. 1. Centros Verdes para las RAAEIT

Evaluación de Alternativas de Transporte:

Para realizar un análisis sobre los tipos de transporte posibles para la recolección de los RAAEIT se definieron los requerimientos y características que debe tener el transporte para cumplir con los mismos. Los requerimientos son: Ingreso al centro de la ciudad de forma fluida, Estacionamiento sin inconvenientes en zonas de carga y descarga, Capacidad de carga acorde a nuestras necesidades, Bajo consumo de combustible, Alta autonomía, Mayor longitud carrozable (caja cubierta) y Cumplimiento con todas las normativas de Tránsito vigentes para los vehículos de transporte de carga. Las características del vehículo son: mediano de 2 o 3 ejes de transmisión, capacidad de carga de 1000 a 6000 kg, Peso Bruto Vehicular (PBV= <10000 kg) reglamentario, Volumen, largo carrozable hasta 7.5m, Autonomía, 50 a 150 lts. Ubicando estas necesidades en el parque automotor de transporte de carga, se identificaron 10 posibles alternativas de vehículos. Los costos, son los de mercado, contrastando esta información con la lista oficial de la Asociación de Concesionarios de Automotores de la República Argentina (ACARA). Las alternativas analizadas fueron: Mercedes Benz Accelo 815, Hino 300 816, Iveco Daily 55c17, Hyundai Hd 78, DFM Duolica 1064, JMC N900, Isuzu Npr75, Mercedes Benz Accelo 915, Volkswagen 6.160, y Mercedes Benz Sprinter 515.

La herramienta de análisis utilizada para la selección del transporte es el método de Ponderación Lineal, que es una manera rápida y sencilla para identificar la alternativa preferible en un problema de decisión multicriterio. La Ponderación Lineal (Scoring) es una función de valor para cada una de las alternativas. Permite: Abordar situaciones de incertidumbre o con pocos niveles de información, Usar una función de valor para cada alternativa, Suponer la transitividad de preferencias o la comparabilidad, Completar compensatorio, puede resultar dependiente, y manipulable, de la asignación de pesos a los criterios o de la escala de medida de las evaluaciones.

Las etapas de este método son las siguientes:

1. Identificar la Meta del Problema: Seleccionar el mejor vehículo para transporte.
 2. Identificar las Alternativas: Mercedes Benz Accelo 815, Hino 300 816, Iveco Daily 55c17, Hyundai Hd 78, DFM Duolica 1064, JMC N900, Isuzu Npr75, Mercedes Benz Accelo 915, Volkswagen 6.160, y Mercedes Benz Sprinter 515.
 3. Listar los Criterios a emplear en la toma de decisión: Carga Útil [Kg], Peso Bruto Vehicular (PBV), Volumen Útil [m3], Largo total [m], Capacidad Combustible [lts], Cilindrada [lts], Potencia [cv/rpm], Costo Mantenimiento [USD], Poder de recambio, Costo vehículo [USD].
 4. Asignar una ponderación para cada uno de los criterios: Se utilizó una escala de 5 puntos rating de satisfacción para cada Alternativa.
 5. Establecer en cuánto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios empleando una escala de 9 puntos: 1 = extra bajo; 2 = muy bajo; 3 = bajo; 4 = poco bajo; 5 = medio; 6 = poco alto; 7 = alto; 8 muy alto; 9 = extra alto.
 6. Calcular el Score para cada una de las alternativas. La alternativa con el Score más alto representa la alternativa a recomendar. El modelo utilizado para calcular el Score es: $S_j = \sum w_i r_{ij}$ donde: r_{ij} = rating de la Alternativa j en función del Criterio i ; w_i = ponderación para cada Criterio i ; S_j = Score para la Alternativa j .
- Los resultados de la aplicación de este método se muestran en las Tablas 3 y 4.

Tabla 3. Criterio de selección de vehículos.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE VEHÍCULO		
Nombre del Criterio	Peso (% de Importancia)	
Carga Útil	5	[1]
Volumen Útil	25	[5]
Cap. Tanque combustible	5	[1]
Potencia	10	[2]
Cilindrada	15	[3]
Costo del vehículo	20	[4]
Poder de Recambio	5	[1]
Costo de Mantenimiento	15	[3]
Total	100%	

Tabla 4. Modelo de selección de vehículos.

MODELO DE SELECCIÓN DE TRANSPORTE																		
ALTERNATIVAS	Carga Útil		Volumen Útil		Capac. Combustible		Cilindrada		Potencia		Costo Manten.		Poder Recambio		Costo		SCORE S_j	
Merc. Benz Accelo 815 <i>ri1</i>	9	5%	9	25%	8	5%	7	15%	8	10%	7	15%	9	5%	4	20%	7.25	
Hino 300 816 <i>ri2</i>	9	5%	7	25%	9	5%	9	15%	6	10%	4	15%	9	5%	5	20%	6.65	
Iveco Daily 55c17 <i>ri3</i>	4	5%	5	25%	7	5%	7	15%	9	10%	7	15%	7	5%	6	20%	6.35	
Hyundai Hd78 <i>ri4</i>	9	5%	6	25%	9	5%	9	15%	9	10%	4	15%	7	5%	3	20%	6.2	
DFM Duolica 1064 <i>ri5</i>	5	5%	8	25%	8	5%	9	15%	8	10%	4	15%	1	5%	8	20%	7.05	
JMC N900 <i>ri6</i>	5	5%	4	25%	6	5%	6	15%	2	10%	4	15%	5	5%	9	20%	5.3	
Isuzu Npr75 <i>ri7</i>	7	5%	7	25%	9	5%	4	15%	6	10%	7	15%	1	5%	2	20%	5.25	
Merc. benz Accelo 915 <i>ri8</i>	5	5%	9	25%	8	5%	8	15%	6	10%	7	15%	4	5%	1	20%	6.15	
Volkswagen 6.160 <i>ri9</i>	5	5%	4	25%	8	5%	6	15%	7	10%	4	15%	5	5%	7	20%	5.5	
Merc. Benz sprinter 515 <i>ri10</i>	4	5%	4	25%	5	5%	2	15%	6	10%	9	15%	1	5%	1	20%	3.95	

El análisis realizado arrojó como resultado que el transporte óptimo para nuestro proyecto es el vehículo **Mercedez Benz Accelo 815 ri1**.

Posteriormente a la selección del transporte, se analizó el tipo de caja (carrocería) de acuerdo al largo carrozable, la disposición de los equipos en la caja y la cantidad de viajes a realizar. La caja debe ser totalmente cubierta, adaptada para transportar los diferentes productos informáticos y de telecomunicaciones, la prioridad es el cuidado de los mismos y la ergonomía en la carga y descarga (por ambos laterales ya que el sistema de apertura y cierre de la caja será mediante cortinas). Cada compartimento tendrá la posibilidad de adaptarse desplazando estanterías para los productos de mayor tamaño. Para los productos medianos y pequeños utilizaremos contenedores de plástico adaptados a los volúmenes que venimos trabajando. De acuerdo a la ficha técnica, podemos calcular el volumen de la caja según el largo carrozable L (5.2m), el ancho de eje C (2.176m) y la altura del techo de la cabina/chasis I (1.632m) más lo que sobresale del techo de la cabina estimado en $\frac{1}{2} I$ (0.816). Así, el volumen de la caja será: $V = L \times C \times (I + \frac{1}{2} I) = 27.7m^3$.

La oferta de cajas en el mercado es escasa, el volumen de caja cubierta aproximado es de 27.22m³ que fue seleccionada para nuestro estudio.

Disposición de RAEEIT para transporte:

Para la elección del contenedor conveniente fue necesario conocer la Cantidad de Equipos en desuso en Rosario y calcular el volumen (m³/Año) de cada equipo. Con esos datos, se dedujo el volumen mensual acopiado en cada uno de los centros de recepción de RAEEIT (6 distritos y 6 centros verdes). Todos los equipos, en lo posible, serán dispuestos en cajas plásticas para su transporte. Las ventajas de elegir este tipo de cajas son: reducir costos de embalaje hasta en un 90%, optimizar el espacio (apilables) y reducir volumen, disminuyendo así costos en transporte en el retorno de las cajas vacías y protección de los residuos. Contemplando el tamaño de los diferentes equipos se determinó el uso de 2 tipos de cajas plásticas, considerando que en labores donde la manipulación de cargas es inevitablemente manual y las ayudas mecánicas no pueden usarse, los trabajadores no deben operar cargas superiores a 25kg. Las formas y volúmenes de las cajas se muestran en la Figura 2.

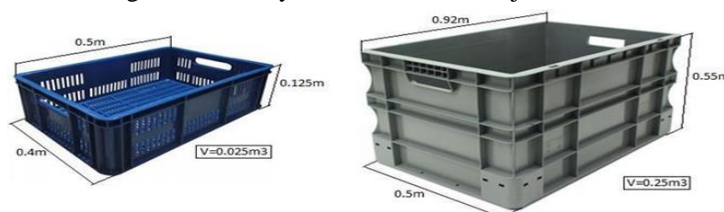


Fig. 2 Volumen cajas

Los equipos se clasificaron en 3 categorías según su volumen unitario para su disposición en las cajas y se muestran en las Tablas 5, 6 y 7.

Tabla 5. Categoría 1: Equipos Grandes: volumen > 0,25 m³

Equipos Grandes	Vol. Rosario (m ³)/año	Volumen (m ³)/mes	Vol. (m ³)/12 Centros Rep.	Volumen (m ³)/3 viajes
Impresoras	2351,37	195,95	16,33	5,44
Fotocop. y Copiadoras	419,46	34,95	2,91	0,97

Tabla 6. Categoría 2: Equipos Medianos: 0,025 m³ < volumen < 0,25 m³

Equipos Medianos	Vol. Rosario (m ³)/año	Volumen (m ³)/mes	Vol. (m ³)/12 Centros Rep.	Volumen (m ³)/3 viajes
PC	1435,83	119,65	9,97	3,32
MONITORES	1637,95	136,50	11,37	3,79
Otros sist. de impresión	783,14	65,26	5,44	1,81
Multifunción	621,16	51,76	4,31	1,44
Otras Computadoras	341,68	28,47	2,37	0,79

Tabla 7. Categoría 3: Equipos Pequeños: volumen < 0,025 m³

Equipos Pequeños	Vol. Rosario (m ³)/año	Volumen (m ³)/mes	Vol. (m ³)/12 Centros Rep.	Volumen (m ³)/3 viajes
Teléfonos celulares	37,40	3,12	0,26	0,009
Partes piezas, Acc., etc	432,81	36,07	3,01	1,00
Teléfonos	308,58	25,71	2,14	0,71
Comp. portátiles	389,00	32,42	2,70	0,90
Comunicaciones	547,69	45,64	3,80	1,27
MOUSES	14,20	1,18	0,10	0,03
TECLADOS	67,73	5,64	0,47	0,16
Calculadoras de bolsillo	12,62	1,05	0,09	0,03
Cámaras Digitales	40,40	3,37	0,28	0,09
Centrales telefónicas	18,61	6,55	0,55	0,18
Teléfonos inalámbricos	8,28	0,69	0,06	0,02
Escanners	12,62	1,05	0,09	0,03

En la carrocería del transporte seleccionado, los equipos se disponen según las 3 categorías clasificadas con la siguiente distribución (Figura 3):

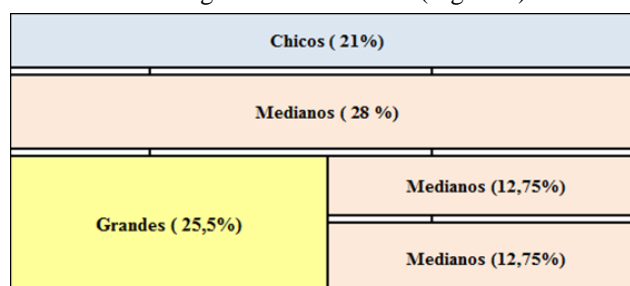


Fig. 3 Distribución de las tres categorías.

Recolección de RAEEIT

Contando con volúmenes calculados para los 6 distritos y los 6 centros verdes agregados para Rosario, es necesario determinar la frecuencia con la que los usuarios dispondrán de los RAEEIT en los distintos centros. Al ser un dato no conocido, se utilizó el método de Montecarlo que realiza una simulación sobre la experimentación con elementos aleatorios (o probabilísticos) mediante un muestreo al azar. La técnica se compone de cinco sencillos pasos:

Paso 1. Establecer distribuciones de probabilidad. La idea fundamental es crear valores válidos para las variables que conforman el modelo objeto de estudio. Una forma habitual de establecer una distribución de probabilidades para una variable dada es mediante el análisis de los datos históricos. La probabilidad o frecuencia relativa de cada resultado posible de una variable se encuentra dividiendo la frecuencia de la observación por el número total de observaciones. Al no contar con datos históricos, se consideran volúmenes máximos a los calculados por distrito (100%) con un margen de -50% divididos en cuartos, es decir 25%; 50%;75%;100%. Como ejemplo, de la Tabla 8 se tomó el volumen total mensual del distrito sudoeste de 97m3. Dividiendo este volumen en cuartos tendremos 24, 49, 73 y 97m3 que serán nuestra demanda de RAEEIT.

Tabla 8. Volumen mensual por distrito

Equipos Chicos	Volumen en Rosario (m3)/Año	Volumen (m3)/mes	Distrito Centro	Distrito Norte	Distrito Noroeste	Distrito Oeste	Distrito Sudoeste	Distrito sur
Teléfonos Celulares	37,40	3,12	0,80	0,45	0,56	0,44	0,38	0,48
Partes Piezas, Accesorios de Computación	432,81	36,07	9,28	5,24	6,52	5,08	4,40	5,55
Teléfonos	308,58	25,71	6,61	3,73	4,65	3,62	3,14	3,96
Computadoras Portátiles	389,00	32,42	8,34	4,71	5,86	4,57	3,96	4,99
Comunicaciones	547,69	45,64	11,74	6,63	8,25	6,43	5,57	7,03
MOUSES	14,20	1,18	0,30	0,17	0,21	0,17	0,14	0,18
TECLADOS	67,73	5,64	1,45	0,82	1,02	0,79	0,69	0,87
Calculadoras de Bolsillo	12,62	1,05	0,27	0,15	0,19	0,15	0,13	0,16
Cámaras Digitales Fotos / Films	40,40	3,37	0,87	0,49	0,61	0,47	0,41	0,52
Centrales Telefónicas	78,61	6,55	1,68	0,95	1,18	0,92	0,80	1,01
Teléfonos inalámbricos	8,28	0,69	0,18	0,10	0,12	0,10	0,08	0,11
Escaners	12,62	1,05	0,27	0,15	0,19	0,15	0,13	0,16
PCs.	1435,83	119,65	30,77	17,37	21,63	16,85	14,60	18,43
MONITORES	1637,95	136,50	35,11	19,81	24,67	19,23	16,66	21,02
Otros sistemas de Impresión	783,14	65,26	16,78	9,47	11,80	9,19	7,97	10,05
Multifunción	621,16	51,76	13,31	7,51	9,36	7,29	6,32	7,97
Impresoras	2351,37	195,95	50,40	28,44	35,42	27,60	23,92	30,17
Las Demás Computadoras	341,68	28,47	7,32	4,13	5,15	4,01	3,48	4,38
Fotocopiadoras y Copiadoras	419,46	34,95	8,99	5,07	6,32	4,92	4,27	5,38
TOTALES	9540,54	795,04	204,48	115,41	143,71	111,98	97,04	122,43

La frecuencia desconocida con la que los usuarios dispondrán de los RAEEIT, se calculó utilizando 365 números aleatorios simulando un año en razón de los rangos formados por los cuartos de volumen del distrito sudoeste.

Paso 2. Construir una distribución de probabilidades acumuladas para cada variable. La conversión de una distribución de probabilidad regular, tal como aparece en la tercera columna de la Tabla 9, en una distribución de probabilidad acumulada es una tarea sencilla. En la cuarta columna de esta tabla se observa que la probabilidad acumulada en cada nivel de demanda es la suma del número que aparece en la columna de probabilidades (tercera) sumado a la probabilidad acumulada anterior.

Tabla 9. Distribución de probabilidades acumuladas

Demanda de RAEEIT	Frecuencia	Probabilidad del suceso	Probabilidad acum	Intervalos
24	92	0,25	0,25	0 0,25
49	95	0,26	0,51	0,25 0,5
73	94	0,26	0,77	0,5 0,75
97	84	0,23	1	0,75 1

Paso 3. Establecer intervalos de números aleatorios. Una vez establecida la distribución de probabilidad acumulada para cada variable que se incluye en la simulación, se asigna una serie de números que represente cada posible valor o resultado, los cuales se denominan intervalos de números aleatorios. Tal como se muestra en la tabla anterior, la longitud de cada intervalo de la derecha corresponde a la probabilidad de cada una de las posibles demandas diarias.

Paso 4. Generar números aleatorios. Estos pueden generarse para problemas de simulación de dos formas. Si el problema es grande y el proceso que se estudia implica muchos ensayos de simulación. Si la simulación se efectúa manualmente, pueden seleccionarse los números de una tabla de dígitos al azar.

Paso 5. Simular el experimento. Podemos simular los resultados de un experimento mediante una simple selección de los números aleatorios. Empezando en un punto aleatorio cualquiera se simulan 12 meses de demanda de RAEEIT según se ve en la tabla siguiente:

Tabla 10. Demanda mensual media de RAEEIT.

1	0,23	24
2	0,67	73
3	0,82	97
4	0,82	97
5	0,81	97
6	0,88	97
7	0,16	24
8	0,07	24
9	0,64	73
10	0,35	49
11	0,86	97
12	0,74	73
	825	
		Demanda total de 12 meses
	825/12 = 68,75	Demanda mensual media de RAEEIT

La demanda media resultante es de 68,75m³ de RAEEIT en este simulacro de 12 meses. Esto difiere de manera significativa de la demanda mensual esperada D_e de 60,03 m³, calculada mediante la siguiente fórmula:

$$D_e = \sum_{k=1}^n (Probabilidad\ de\ i\ unidades) * (Demanda\ de\ i\ unidades)$$

$$= (0,25 * 24) + (0,26 * 49) + (0,26 * 73) + (0,23 * 97) = 60,03$$

Sin embargo, si esta simulación se repitiera cientos o miles de veces, la demanda media simulada sería casi la misma que la esperada. Siguiendo la misma metodología se realizó la simulación con los volúmenes de los distritos restantes para obtener las demandas esperadas que son utilizados en cálculos posteriores.

Tabla 11 Demanda mensual media por distrito

	Distrito Centro	Distrito Norte	Distrito Noroeste	Distrito Oeste	Distrito Sudoeste	Distrito sur
Demanda mensual media	119	69,48	90	79,33	68,75	68,625
Demanda esperada	125,97	78,655	88,92	74,2	60,03	76,26

3. Definición de Rutas de Recolección

Al contar con un punto de origen y destino coincidente y único (se supone que hay un depósito central desde el que el vehículo parte a efectuar la recolección, regresando al terminar), el método de barrido es un procedimiento que genera buenas soluciones cercanas al verdadero óptimo en tiempos razonablemente breves. Este método es sencillo de aplicar aún cuando haya muchas paradas. La precisión reportada al usar este método en una variedad de problemas distintos ha sido con errores del 10% del mejor valor posible (para minimizar costos, por ejemplo). Este nivel de error, aunque no es muy pequeño resulta aceptable cuando el transportista requiere de soluciones medianamente buenas en tiempos muy cortos. Se trabaja en dos etapas: asignar a cada vehículo sus paradas hasta completar la carga máxima que puede llevar y luego se determina el orden en que se visitaran las paradas por el vehículo, tratando de seguir principios de buen ruteo. Los pasos del método de barrido son los siguientes:

Paso 1. Se localizan todos los puntos de entrega (paradas) en un mapa o diagrama con coordenadas cartesianas y se enlistan los vehículos en orden de mérito por su capacidad de carga, eligiendo primero al de mayor capacidad (en nuestro caso, 27m³).

Paso 2. A partir del depósito se dibuja una línea recta en cualquier dirección. Esta línea hará las veces de una “aguja giratoria” que irá tocando todas las paradas. Se gira la línea recta alrededor del depósito hasta tocar una parada. Si la demanda en esta parada no excede la capacidad disponible del vehículo, se incluye en la ruta, continuando con el giro de la recta hasta tocar la siguiente parada. Otra vez, si la demanda en la nueva parada no rebasa la capacidad disponible del vehículo, se incluye en la ruta y se prosigue con el giro de la recta. Continuando así, se completan las paradas para el primer vehículo en el momento en que la parada que se examina tiene una demanda que rebasa la capacidad disponible del vehículo. Esta parada es la que inicia el próximo ciclo para determinar ruta, usando el siguiente vehículo de mayor capacidad. Este procedimiento se muestra en la Figura 4.



Fig. 4 Bosquejo del método de barrido para la ruta de recolección de RAEEIT

Paso 3. Una vez determinadas las paradas que cubrirán los vehículos, se procede a determinar el orden en que se visitarán, que en nuestro caso será de la siguiente

manera: 9 - 2 - 8 - 3 - 10 - 13 - 4 - 11 - 12 - 7 - 5 - 6. Para esto se puede seguir el principio de formar patrones de gota en la ruta, o si se tiene tiempo y software, encontrar soluciones del problema del agente viajero para cada grupo de paradas.

Tabla 12. Frecuencia de recolección por distrito

Recorrido	Nodo	T (min)	Dist (km)	Vol del nodo	Vol recolectado	Vol Restante	T de carga (min)	T de descarga (min)
1	1	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
1-9	9	12	6	39,32	22,00	17,32	110	0
9-1	1	12	6	0,00	0,00	0,00	0	110
1-9	9	12	6	17,32	17,32	0,00	86,6	0
9-2	2	7	3	39,33	4,68	34,65	23,4	0
2-1	1	11	4	0,00	0,00	0,00	0	110
1-2	2	11	4	34,65	22,00	12,65	110	0
2-1	1	11	4	0,00	0,00	0,00	0	110
1-2	2	11	4	12,65	12,65	0,00	63,25	0
2-8	8	11	4	62,98	9,35	53,63	46,75	0
8-1	1	19	8	0,00	0,00	0,00	0	110
1-8	8	19	9	53,63	22,00	31,63	110	0
8-1	1	21	9	0,00	0,00	0,00	0	110
1-8	8	19	9	31,63	22,00	9,63	110	0
8-1	1	21	9	0,00	0,00	0,00	0	110
1-8	8	19	9	9,63	9,63	0,00	48,15	0
8-3	3	14	5	62,98	12,37	50,61	61,85	0
3-1	1	15	8	0,00	0,00	0,00	0	110
1-3	3	17	7	50,61	22,00	28,61	110	0
3-1	1	15	8	0,00	0,00	0,00	0	110
1-3	3	17	7	28,61	22,00	6,61	110	0
3-1	1	15	8	0,00	0,00	0,00	0	110
1-3	3	17	7	6,61	6,61	0,00	33,05	0
3-10	10	14	6	44,46	15,39	29,07	76,95	0
10-1	1	3	1	0,00	0,00	0,00	0	110
1-10	10	4	1	29,07	22,00	7,07	110	0
10-1	1	3	1	0,00	0,00	0,00	0	110
1-10	10	4	1	7,07	7,07	0,00	35,35	0
10-13	13	23	16	38,13	14,93	23,20	74,65	0
13-1	1	21	19	0,00	0,00	0,00	0	110
1-13	13	21	14	23,20	22,00	1,20	110	0
13-1	1	21	19	0,00	0,00	0,00	0	110
1-13	13	21	14	1,20	1,20	0,00	6	0
13-4	4	6	3	38,13	20,80	17,33	104	0
4-1	1	19	16	0,00	0,00	0,00	0	110
1-4	4	20	16	17,33	17,33	0,00	86,65	0
4-11	11	19	8	37,10	4,67	32,43	23,35	0
11-1	1	13	8	0,00	0,00	0,00	0	110
1-11	11	13	8	32,43	22,00	10,43	110	0
11-1	1	13	8	0,00	0,00	0,00	0	110
1-11	11	13	8	10,43	10,43	0,00	52,15	0
11-12	12	11	5	30,01	11,57	18,44	57,85	0
12-1	1	15	12	0,00	0,00	0,00	0	110
1-12	12	16	12	18,44	18,44	0,00	92,2	0
12-7	7	8	3	30,10	3,56	26,54	17,8	0
7-1	1	14	14	0,00	0,00	0,00	0	110
1-7	7	16	15	26,54	22,00	4,54	110	0
7-1	1	14	14	0,00	0,00	0,00	0	110
1-7	7	16	15	4,54	4,54	0,00	22,7	0
7-5	5	14	14	44,46	17,46	27,00	87,3	0
5-1	1	5	2	0,00	0,00	0,00	0	110
1-5	5	4	1	27,00	22,00	5,00	110	0
5-1	1	5	2	0,00	0,00	0,00	0	110
1-5	5	4	1	5,00	5,00	0,00	25	0
5-6	6	6	2	37,10	17,00	20,10	85	0
6-1	1	8	3	0,00	0,00	0,00	0	110
1-6	6	8	5	20,10	20,10	0,00	100,5	0
6-1	1	8	3	0,00	0,00	0,00	0	100,5
		749 (min)	434 (km)				2520,5 (min)	2520,5 (min)

La Tabla 12 muestra cómo es el recorrido que deberá realizar el camión, el cual comienza en el nodo 1 (centro de acopio) y pasa por todos los Centros Verdes hasta terminar finalmente en el nodo 1. Si bien el camión tiene un volumen de carga total igual a 27,22 m³, se utiliza un volumen de carga de 22 m³ como capacidad de carga del camión en cada viaje. El camión sale del centro de acopio (nodo 1) hasta el nodo 9, el cual tiene un volumen de 39,33 m³, donde recolecta su capacidad máxima (22 m³) dejando un remanente de 17,32 m³. Luego emprende la vuelta hasta el centro de acopio (nodo 1) en donde descarga la totalidad de lo recolectado. Una vez que el camión está vacío retorna al nodo 9 a recolectar el remanente. Una vez completado el primer viaje, se dirige al siguiente destino (nodo 2) donde recolecta el volumen restante para completar los 22 m³ de carga máxima. De ahí emprende nuevamente viaje hasta el centro de acopio (nodo 1) para descargar lo recolectado. Sigue esa metodología de carga y descarga por cada uno de los nodos hasta completar la recolección total de RAEEIT. Estimando un tiempo promedio de 5 minutos para poder cargar un m³ en el camión y contemplando también el mismo tiempo para la descarga, se obtiene un tiempo total de carga y descarga de 5041 minutos (84,91 horas), sumando el tiempo de recorrido que es igual a 749 minutos (12,48 horas) se totaliza un tiempo total de 5790 minutos (96,5 horas). Estableciendo una jornada laboral de 8 horas diarias se concluye que con una frecuencia de 3 veces por semana (lunes, miércoles y viernes se recolecta la totalidad de los RAEEIT de todos los centros verdes acumulados en un mes).

Costo de Transporte:

Se procedió a analizar los determinantes de los costos y de los precios del sector de transporte de cargas, basándose en estimaciones de Cámaras que intentan replicar la función de producción de la actividad bajo determinados supuestos que hacen a los equipos utilizados, a su uso y al tipo de tráfico realizado. En este sentido, según (<http://www.edutecne.utn.edu.ar/transporte/costos.pdf>) la incidencia de cada rubro de costo en porcentaje de costo total es: Combustible 30,3%, Lubricante 3,2%, Neumáticos 2,8%, Reparaciones 5,6%, Personal 41,3%, Patentes y Tasas 6,9%, Gastos generales 6,0% y Peaje 3,9%.

Se siguió una estructura de costo estimada que obtuvimos mediante información de la Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas (FADEEAC). Esta estructura contiene los siguientes rubros: Remuneraciones personales operativas, Cargas sociales directas personal operativo, Cargas sociales derivadas personal operativo, Combustibles, Lubricantes, Filtros, Mantenimientos, Neumáticos, Seguro vehículo, patente vehículo, Comunicaciones, peajes, Lavados, Inspección técnica, Amortización vehículo, R.U.T.A., Licencia nacional habilitante. De esta forma se obtuvo que el Costo total anual resulta de \$ 2.718.840.

4. Conclusión

Argentina no escapa a esta realidad mundial de constante innovación tecnológica e incremento exponencial de RAEE. Se tomó conocimiento de la gestión actual de RAEE en Rosario y la evidencia muestra que existe muy poca difusión acerca del tipo de recolección y su tratamiento, ya que sólo consiste en que cada ciudadano entregue

estos residuos en los Centros Municipales de Distrito, el último viernes y sábado de cada mes. El volumen recolectado es poco significativo en relación a lo generado. Para atacar esta problemática es claro que se requiere la participación de todos los actores y responsables como fuentes generadoras de residuos. Esta investigación se delimitó a estudiar un plan para la gestión logística de los RAEE informática y telecomunicaciones de Rosario. Para tomar conocimiento de los volúmenes a tratar, se utilizó la información nacional de equipos en desuso generada por CAMOCA (Cámara Argentina de Multimedia, Ofimática, Comunicaciones y Afines) cuyos informes proporcionan cantidades y peso, infiriendo de aquí valores proporcionales a la población de la ciudad de Rosario. Se fijaron prioridades y lineamientos de cómo desarrollar un plan de gestión de RAEE que cumpla con las normativas vigentes, desde la elección del transporte adecuado y el cuidado de los equipos en su traslado. Respecto a esto último se clasificaron los residuos en categorías acorde a sus tamaños y pesos respetando para la manipulación los pesos mínimos de seguridad según el convenio de trabajo de la Unión de Trabajadores de Carga y Descarga de la República Argentina. Asimismo se puso énfasis en la selección de contenedores donde los RAEEIT serán trasladados de forma segura. Además, se propuso adicionar 6 nuevos centros verdes, a los 6 ya existentes en los distritos. Con la aplicación de métodos y simulaciones se determinó la ruta óptima y la frecuencia de recolección. Se efectuó un análisis de costos asociados a todos los rubros logísticos.

Es deseable en un futuro cercano contar con una ley de gestión de RAEE, y con el apoyo y compromiso de todos los usuarios, productores, distribuidores y autoridades de aplicación. Fundamental para ello, es que se efectúe una buena difusión, con lo que se lograría un escenario favorable para considerar factible implementar este trabajo y así contribuir al cuidado de Rosario y su medio ambiente.

Bibliografía

1. Residuos Electrónicos, Disponible en <https://www.greenpeace.org/argentina/el-peligro-de-los-residuos-electronicos/> Consultado 03/10/2019
2. Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). Observatorio Mundial de los Residuos electrónicos. 2017. Ginebra: ONU. 2017
3. Fernández Protomastro, G. (2014). 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. 2014
4. Fernández Protomastro, G. (2013). Minería Urbana y la Gestión de los Residuos Electrónicos. 1a ed. CABA: Grupo Uno. 317 p. ISBN 978-987-29862-1-6. 2013
5. Cámara Argentina de Multimedia, Ofimática, Comunicaciones y Afines (CAMOCA). Disponible en: <http://www.camoca.com.ar/> Consultado 02/09/2019
6. unlp.edu.ar/vinculacion_tecnologica/programa_e_basura-7876. Consultado 11/08/2019
7. ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1572/PLANTA%20DE%20ACOPIO%20Y%20DEENSAMBLE%20DE%20RAEE.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado 11/08/2019
8. www.unioncargaydescarga.org/user/files/CCT_508_07-TEXTO_ORDENADO_2015.pdf. Consultado 21/10/2019