

## Gestión de la Recolección de Residuos Informáticos en la ciudad de Rosario

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

Facultad de Química e Ingeniería del Rosario. Pontificia Universidad Católica Argentina  
Av. Pellegrini 3314, (2000) Rosario, Santa Fe, Argentina.

### Resumen

Este trabajo propone una mejora en la gestión de recolección de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en la ciudad de Rosario. Actualmente ésta consiste en que cada ciudadano entregue estos residuos en Centros asignados dos días al mes. El volumen recolectado es poco significativo en relación al volumen generado. Este último se estimó por inferencia a partir de información nacional de volumen y peso de equipos en desuso suministrada por la Cámara Argentina de Multimedia, Ofimática, Comunicaciones y Afines. El estudio se delimitó a residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de informática y telecomunicaciones (RAEEIT). Fijamos prioridades y lineamientos de cómo desarrollar un plan de gestión de RAEE que cumpla con todas las normativas vigentes desde la elección del transporte adecuado al cuidado de los equipos en su traslado. Clasificamos los mismos en categorías acorde a tamaños y pesos respetando para la manipulación los pesos mínimos de seguridad según el convenio de Trabajadores de Carga y Descarga. Seleccionamos contenedores donde los RAEEIT serán trasladados de forma segura desde los centros verdes hacia el centro de acopio para su posterior tratamiento. Estos centros verdes fueron analizados y asignados a una ubicación como resultado de la distribución de los volúmenes a tratar. Asimismo se determinó la ruta óptima y se estimaron frecuencia de recolección apropiada y costos de transporte contemplando todos los rubros asociados a la logística.

**Palabras Claves:** Logística, Recolección, Residuos Informáticos, RAEE, Rosario.

### Abstract

This work proposes an improvement in the collection management of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) in the city of Rosario. Currently this consists of each citizen delivering this waste in assigned Centers two days a month. The volume collected is not very significant in relation to the volume generated. The latter was estimated by inference from national information on the volume and weight of disused equipment provided by CAMOCA. The study was delimited to waste electrical and electronic equipment for computing and telecommunications (WEEEIT). We set priorities and guidelines on how to develop a WEEE management plan that complies with all current regulations from the choice of adequate transport to the care of the equipment in its transfer. We classify them into categories according to sizes and weights, respecting the minimum safety weights for handling according to the Loading and Unloading Workers' agreement. We select containers where WEEEITs will be transferred safely from the green centers to the collection center for subsequent treatment. These green centers were analyzed and assigned to a location as a result of the distribution of the volumes to be treated. Likewise, the optimal route was determined and appropriate collection frequency and transportation costs were estimated considering all items associated with logistics.

**Keywords:** Logistics, Recollection, Computer Waste, WEEE, Rosario

## 1. Introducción

En el mundo la constante innovación tecnológica genera un incremento exponencial de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Nuestro país, al igual que nuestra ciudad, no escapa a esta realidad. 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 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 obtienen 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 una 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. Análisis de la Situación Actual

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.

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 1.

Tabla 1. Población por distrito de Rosario.

Población por Distrito	Habitantes	Área (Km <sup>2</sup> )	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).

### 3. Propuesta para la Gestión de la Recolección de Residuos Informáticos

**Análisis 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 m<sup>2</sup>, 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 (ver 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 Electrodomésticos (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 m<sup>2</sup> de superficie ubicada en el barrio Fisherton Industrial. 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 RAEEIT

**Evaluación de Alternativas de Transporte:** Para realizar un análisis sobre los tipos de transporte posibles para la recolección de los RAEEIT 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. Por esto, las características necesarias para el 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: 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 [m<sup>3</sup>], 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.
7. Los resultados de la aplicación de este método se muestran en las Tablas 2.

**Tabla 2. Criterio de selección de vehículos.**

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE VEHICULO		
Nombre del Criterio	Peso (% de Importancia)	
Carga Util	5	[1]
Volumen Util	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%	

El análisis realizado arrojó como resultado que el transporte óptimo para nuestro proyecto es el vehículo Mercedes Benz Accelo 815 r1l.

**Análisis de Carrocería:** 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 estar 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 del vehículo elegido, 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 1/2I (0.816). Así, el volumen de la caja será:  $V = L \times C \times (I + 1/2I) = 27.7 \text{ m}^3$ . La oferta de cajas en el mercado es escasa, el volumen de caja cubierta aproximado es de 27.22m<sup>3</sup> 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 (m<sup>3</sup>/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, estarán 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 3, 4 y 5.

Tabla 3. Categoría 1: Equipos Grandes: volumen > 0,25 m3

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

Tabla 4. Categoría 2: Equipos Medianos: 0,025 m3 < volumen < 0,25 m3

Equipos Medianos	Vol. Rosario (m <sup>3</sup> )/año	Volumen (m <sup>3</sup> )/mes	Vol. (m <sup>3</sup> )/12 Centros Rep.	Volumen (m <sup>3</sup> )/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 5. Categoría 3: Equipos Pequeños: volumen < 0,025 m3

Equipos Pequeños	Vol. Rosario (m <sup>3</sup> )/año	Volumen (m <sup>3</sup> )/mes	Vol. (m <sup>3</sup> )/12 Centros Rep.	Volumen (m <sup>3</sup> )/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
Escaners	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):

Chicos ( 21%)	
Medianos ( 28 %)	
Grandes ( 25,5%)	Medianos (12,75%)
	Medianos (12,75%)

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 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 6 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 6. 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
Escanners	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
<b>TOTALES</b>	<b>9540,54</b>	<b>795,04</b>	<b>204,48</b>	<b>115,41</b>	<b>143,71</b>	<b>111,98</b>	<b>97,04</b>	<b>122,43</b>

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 7, en una distribución de probabilidad acumulada es una tarea sencilla. En la cuarta columna se observa que la probabilidad acumulada en cada nivel de demanda es la suma del número que aparece en la columna de probabilidades sumado a la probabilidad acumulada anterior.

**Tabla 7. 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.* 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 8. 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 68,75m<sup>3</sup> de RAEEIT en este simulacro de 12 meses. Esto difiere de manera significativa de la demanda mensual esperada D<sub>e</sub> de 60,03 m<sup>3</sup>, calculada mediante la siguiente fórmula:

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

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

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 9. 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

#### 4. 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 visitarán 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, 27m<sup>3</sup>).

*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 la ruta, usando el siguiente vehículo de mayor capacidad. Este procedimiento se muestra en la Figura 4.

*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.

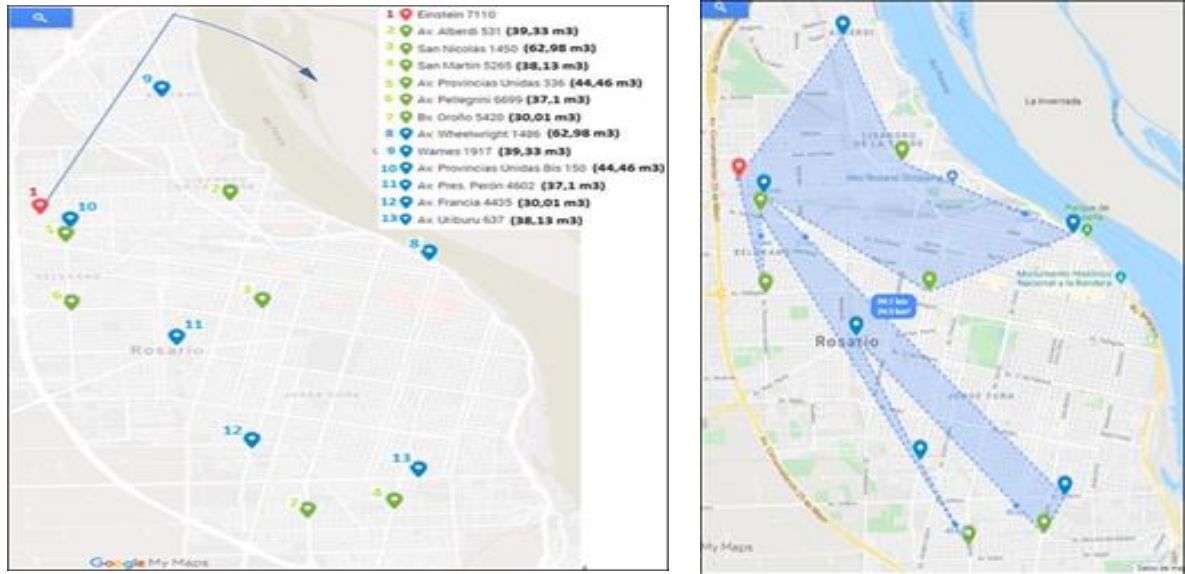


Fig. 4 Bosquejo del método de barrido para la ruta de recolección de RAEEIT

A partir de esto, se propuso 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 m<sup>3</sup>, se utiliza un volumen de carga de 22 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>, donde recolecta su capacidad máxima (22 m<sup>3</sup>) dejando un remanente de 17,32 m<sup>3</sup>. 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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).

## 5. 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, que se resume en la tabla siguiente:



<b>Costos ANUALES</b>	<b>TOTALES</b>
Remuneraciones personales operativas.	1.011.120
Cargas sociales directas personal operativo.	288.472
Cargas sociales derivadas personal operativo.	224.949
Combustibles.	523.630
Lubricantes.	10.577
Filtros.	10.150
Mantenimientos.	40.200
Neumáticos.	65.600,00
Seguro vehículo.	84.000
Patente vehículo.	34.320,75
Comunicaciones.	12.000
Peajes.	N/A
Lavados.	6.000
Inspección técnica.	-
Amortización vehículo.	402.000
R.U.T.A.	4.550
Licencia nacional habilitante.	1.271
<b>TOTAL, COSTOS</b>	<b>\$ 2.718.840</b>

## 6. Conclusión

En este trabajo 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 en 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. Para esto, 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 nuestro país. 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. Se determinó la ruta óptima y la frecuencia de recolección aplicando métodos y simulaciones. Además se efectuó un análisis de costos asociados a todos los rubros logísticos. Se espera en un futuro cercano contar con una ley de gestión de RAEE y con el apoyo y el compromiso de todos los usuarios, productores, distribuidores y autoridades.

## 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](http://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%20E%20RAEE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/123456789/1572/PLANTA%20DE%20ACOPIO%20Y%20DEENSAMBLE%20E%20RAEE.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Consultado 11/08/2019
8. [www.unioncargaydescarga.org/user/files/CCT\\_508\\_07-TEXTO\\_ORDENADO\\_2015.pdf](http://www.unioncargaydescarga.org/user/files/CCT_508_07-TEXTO_ORDENADO_2015.pdf). Consultado 21/10/2019