

LA LOGÍSTICA INVERSA Y LA RECOGIDA CAPILAR DE RESIDUOS DE PILAS Y ACUMULADORES

JOSÉ ÁNGEL GONZÁLEZ

Universidad Politécnica de Madrid

EVA PONCE-CUETO

Massachusetts Institute of Technology

Tradicionalmente la logística, entendiendo como tal el proceso de planificación, ejecución y control del flujo de materiales, servicios e información desde los puntos de origen hasta los puntos de consumo, ha sido objeto de interés y estudio por parte del mundo empresarial y académico.

Aunque inicialmente el interés residía en la necesidad de este flujo para la propia actividad comercial, algunos autores como Drucker (1962) o Magee (1966) comenzaron a destacar que la coordinación y sinergia de las diferentes actividades logísticas podrían suponer mejoras significativas en el servicio ofrecido a clientes y consumidores. Aunque estas primeras ideas de eficiencia en el sistema logístico no tuvieron una incidencia inmediata, a partir de los años setenta han marcado un camino bien definido en la evolución de la logística.

En el año 1987, Porter considera que el desarrollo de la función logística se debe, principalmente, a la posibilidad de conseguir ventajas competitivas sostenibles en el tiempo a través del desarrollo de un sistema logístico eficiente. Ya en los años noventa, aparece una nueva modalidad de logística, la denominada logística inversa. Existen múltiples definiciones de este tipo de logística, aunque, en casi todas ellas se destaca el flujo de materiales desde el punto de consumo al fabricante así como el objetivo último de este flujo. Por ejemplo, Hawks (2006) define como logística inversa «el proceso de planificación, implantación y control de forma eficiente y al coste óptimo del flujo de materias primas, materiales en curso de producción y productos acabados, así como el de la información relacionada, desde el punto de consumo hacia el punto de origen con el objeto de recuperar el valor de los materiales o asegurar su correcta eliminación».

La esencia de la logística inversa está, por tanto, en el retorno de los productos usados, denominados residuos, hacia los sistemas productivos para, en función de su situación, recuperar sus materiales o tratar adecuadamente su eliminación.

El origen e interés por la logística inversa surge desde tres consideraciones:

- 1** Las posibilidades de aprovechamiento de los componentes de valor en los residuos.
- 2** La necesidad de prestar un servicio a los clientes, con la retirada de productos que ya han perdido su utilidad.
- 3** La aplicación de normativas ambientales, que obligan a los responsables de la puesta en el mercado de determinados productos a gestionar los residuos para reducir el impacto medioambiental de los mismos y aprovechar las materias primas mediante el reciclaje.

Al igual que sucede con la logística directa, la utilización eficiente de los recursos destinado a las actividades de la logística inversa, permite reducciones de costes y de impactos ambientales, que también pueden significar ventajas competitivas.

Cuando la normativa vigente responsabiliza a las empresas de un determinado sector a la recupera-

ción de los residuos de sus productos (conocido en inglés por las siglas *EPR extended producer responsibility*), es habitual la creación de sistemas colectivos para las actividades de la logística inversa (sobre todo en Europa). El artículo de Atasu y Subramanian (2012) analiza las implicaciones de los diferentes sistemas de recogida de los residuos de equipos eléctricos y electrónicos, bien sean individuales o colectivos. En España, el más habitual es el denominado Sistema Integrado de Gestión (SIG), actualmente denominado Sistema Colectivo de Responsabilidad Aplicada del Productor, sistema colectivo mediante el cual las empresas que se adhieren a este sistema, evitan tener que realizar, por cuenta propia, las tareas asociadas a la recuperación y tratamiento de los residuos. Las empresas financiarán las actividades del SIG, que teniendo personalidad jurídica propia no tiene ánimo de lucro. Se trata, por tanto, de la subcontratación, por parte de la empresa, del diseño y desarrollo de las actividades que integran la logística inversa de los productos que ha introducido en el mercado.

La relación entre el ciclo de vida de un producto y el diseño de las operaciones necesarias para su retorno al sistema productivo es evidente. En muchos productos, especialmente los relacionados con la electrónica y las aplicaciones de las nuevas tecnologías de la información y comunicación, se hace cada vez más evidente la reducción de su vida útil, condicionada a la comercialización de nuevos productos con mayores prestaciones y mejores niveles de servicio.

Por otra parte las normativas en material ambiental son cada vez más exigentes, con una clara tendencia a incrementar la responsabilidad de las empresas que incorporan productos al mercado en el retorno de los materiales a las actividades propiamente productivas.

Finalmente es necesario señalar el incremento de la demanda social de procesos más sostenibles en nuestro modelo productivo. Lógicamente la sostenibilidad pasa por la repetitiva utilización de los materiales necesarios para la producción de múltiples productos industriales y de consumo.

Estos argumentos han incrementado el interés que las empresas han puesto en la necesidad de contar con un canal de distribución inversa. La incorporación a un SIG permite la delegación de la gestión del sistema de logística inversa así como la motivación del consumidor en su necesaria participación en la entrega de los residuos de los productos utilizados.

Entre los elementos claves para la eficiencia de la logística inversa destaca el tipo de gestión realizada por la empresa subcontratada para la realización de las tareas de recogida, transporte, almacenamiento e incluso separación de los residuos. Básicamente estas funciones van a recaer sobre operadores logísticos especializados en este tipo de tareas. La figura

del operador logístico es recogida en la Ley 9/2013, de 4 de julio de Ordenación de los Transportes Terrestres como «empresa especializada en organizar, gestionar y controlar, por cuenta ajena, las operaciones de aprovisionamiento, transporte, almacenaje o distribución de mercancías que precisan sus clientes en el desarrollo de su actividad empresarial. En el ejercicio de su función, el operador logístico podrá utilizar infraestructuras, tecnología y medios propios o ajenos».

Evidentemente esta definición está basada en los principios de la logística directa, es decir, aquella centrada en el flujo de mercancías que se dirige desde el productor al cliente. Sin embargo, la definición, en cuando a actividades, es igualmente válida para el caso de la logística inversa.

El objetivo principal de este artículo es identificar iniciativas y soluciones que ayuden a mejorar la eficiencia de los sistemas de recogida de residuos en entornos urbanos (recogida capilar de los residuos). Para ello, el artículo se centra en el caso de la recogida capilar de pilas y baterías.

El artículo se estructura de la siguiente forma. En primer lugar se introducen los conceptos esenciales relacionados con la logística inversa, tales como su motivación y su organización. En segundo lugar se revisan las diferentes normativas que se aplican para el caso de los residuos de pilas y baterías. Los actores y las etapas más relevantes en la gestión de los residuos de pilas y acumuladores son revisados a continuación. Posteriormente se presenta el diseño de los canales de recogida urbana, en el caso de los residuos de pilas y baterías que constituyen la principal contribución de este artículo. Finalmente se discuten las conclusiones.

NORMATIVAS PARA LOS RESIDUOS DE PILAS Y BATERÍAS

Las pilas y acumuladores usados son considerados como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). La primera regulación de la Unión Europea fue la Directiva 2002/96/CE, de 27 de enero de 2003, que sentó las bases de un modelo de gestión que aplicaba el principio de la responsabilidad ampliada del productor de los aparatos eléctricos y electrónicos, considerándole sujeto responsable de los costes que derivan de la gestión de los residuos procedentes de estos aparatos.

Posteriormente la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y Consejo de 6 de septiembre de 2006 establece, para el caso de las pilas y acumuladores, la necesidad de organizar la recogida selectiva de este tipo de residuos. Definiendo los objetivos de valoración y reciclado, esta Directiva concreta las obligaciones de los distintos agentes económicos implicados utilizando el principio de responsabilidad del productor y de responsabilidad compartida.

Finalmente, la Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sustituye a la Directiva del año 2002 e incorpora impor-

CUADRO 1
DIFERENTES NORMATIVAS APLICABLES A LOS RESIDUOS DE PILAS Y ACUMULADORES

Fuente: Ámbito	Normativa	Fecha	Referencia
Unión Europea	Directiva 2002/96/CE	27/01/2003	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
	Directiva 2006/66/CE	06/09/2006	Eliminación de pilas y acumulares usados
	Directiva 2008/98/CE	19/11/2008	Residuos (deroga anteriores Directivas)
	Directiva 2012/19/UE	04/07/2012	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
Nacional	Real Decreto 106/2008	01/02/2008	Pilas y acumuladores y gestión ambiental de sus residuos
	Real Decreto 943/2010	23/07/2010	Pilas y acumuladores y gestión ambiental de sus residuos (modifica el Real Decreto 106/2008)
	Real Decreto 110/2015	20/02/2015	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos
	Ley 22/2011	28/07/2011	Residuos y suelos contaminados (recogida pilas)
Acuerdo Europeo	ADR (Edición 2011) En España: BOE	11/07/2011	Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera

FUENTE: Elaboración propia

tantas mejoras en la gestión de RAEE en Europa. Esta Directiva incorpora los principios más actualizados de la legislación comunitaria de residuos, contemplados en la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008.

El cuadro 1 resume las principales Directivas Europeas y Nacionales que afectan a las normativas, responsabilidades y aspectos logísticos de los residuos de pilas y acumuladores.

A nivel nacional, el Real Decreto 106/2008 del 1 de febrero de 2008, referente a pilas y acumuladores, establece un nuevo marco normativo para fabricantes y comerciantes de pilas, así como las normas para la gestión de pilas y baterías usadas. Este Real Decreto prohíbe la comercialización de pilas que contengan determinado nivel de metales pesados, establece la responsabilidad del productor en la gestión final del residuo y regula los mecanismos de financiación y la información a los usuarios finales.

El Real Decreto 106/2008 concreta que la recogida de los residuos de pilas y acumuladores portátiles debe realizarse mediante procedimientos específicos de recogida selectiva. Para ello se deben crear redes de puntos de recogida selectiva distribuidos en toda la geografía española. También establece diferentes obligaciones para cada uno de los actores implicados en la gestión de los residuos. En concreto, obliga al productor a hacerse cargo de la recogida y gestión de pilas, acumulares y baterías usadas en la misma cantidad que haya puesto en el mercado. Para ello le facilita una serie de posibilidades, entre las que se encuentra la alternativa de participar en un Sistema Integrado de Gestión para el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el Decreto.

Las administraciones públicas y los distintos operadores económicos que intervienen en la gestión de los residuos están obligados a informar de su gestión, así como de respetar el derecho de los consumidores a la entrega gratuita de los residuos. En el precio de la pila o batería ya está incluido el coste de la gestión que facilite su reciclaje.

Por su parte, los distribuidores han de aceptar en sus puntos de ventas el retorno de las pilas y acumulares portátiles usados, sin cargo adicional para el usuario final.

El artículo 15 del Real Decreto 106/2008 establece los objetivos relativos a las cantidades de recogida en residuos de pilas y acumuladores. En concreto, estos objetivos diferencian tres tipos de productos:

- Para pilas y acumulares portátiles:
 - El 25% de la cantidad comercializada a partir del 31 de diciembre de 2011
 - El 45% de la cantidad comercializada a partir del 31 de diciembre de 2015
- Para baterías de automoción:
 - El 90% de la cantidad comercializada a partir del 31 de diciembre de 2009
 - El 95% de la cantidad comercializada a partir del 31 de diciembre de 2011
- Para pilas, acumulares y baterías industriales que contengan metales pesados, como Cadmio o Níquel:
 - El 95% de la cantidad comercializada a partir del 31 de diciembre de 2011

Este mismo Real Decreto establece en el artículo 12 los niveles de eficiencia mínima en materia de reciclado. En concreto, estos niveles son:

- 75% en peso de las pilas y acumulares de metales pesados (Níquel – Cadmio)
- 65% en peso de pilas y acumulares de Plomo-ácido (automoción)
- 50% en peso del resto de pilas y acumulares

Un decreto posterior, el Real Decreto 943/2010, de 23 de julio, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos, modifica y aclara algunas cuestiones puntuales del Real Decreto 106/2008. Sin embargo mantiene en todo momento, la esencia y

principios generales establecidos en el decreto inicial.

El Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero de 2015, profundiza en la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos e incorpora a nivel nacional los cambios introducidos en la Directiva Europea 2012/19/UE. Para ello detalla determinados aspectos del funcionamiento del modelo de gestión de RAEE al tiempo que establece una nueva norma para el cumplimiento de los nuevos objetivos.

Otras normativas también van a influir directamente en la gestión de este tipo de residuo, como son la Ley 22/2011 de Residuos y Suelos Contaminados, que afecta a la recogida de las pilas, acumulares y baterías usadas, y el Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera ADR 2011 (BOE 11 de julio de 2011), para el transporte, envasado y etiquetado de los residuos que contienen Litio y Níquel-Cadmio.

Tanto los decretos relativos a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Reales Decretos 208/2005 y 110/2015) como el relacionado más concretamente con pilas y acumuladores (Real Decreto 106/2008) atribuyen a las Comunidades Autónomas la aplicación de las normativas referentes a los residuos. Es por tanto, cada Comunidad Autónoma, la responsable de desarrollar las iniciativas concretas y conceder las autorizaciones pertinentes para posibilitar la gestión de los residuos.

ACTORES Y ETAPAS EN LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE PILAS Y ACUMULADORES †

Para la existencia de las redes de recogida de pilas y acumuladores el primer punto parte de la Administración Central, que una vez establecida la normativa, supervisa su funcionamiento. Dependiendo del Ministerio de Industria, el Registro Nacional de Productores de Pilas y Acumuladores es el lugar de inscripción de los diferentes productores, así como el receptor de las declaraciones de puesta en mercado de las correspondientes cantidades anuales. Directamente relacionada con estas declaraciones, asigna a cada productor la cuota de mercado sobre la que tiene la responsabilidad de la gestión de los residuos. Las Comunidades Autónomas y Administraciones locales, a través de sus diferentes órganos ejecutivos, autorizan a determinados SIG la gestión de los residuos dentro de sus territorios autonómicos. Los SIG, por su parte, deben informar a autoridades autonómicas y locales de flujos de residuos y cantidades gestionadas. Los productores de pilas pueden adherirse al SIG que consideren más adecuado, financiando, de forma periódica, su actividad en función de las pilas comercializadas. El correspondiente SIG proporciona el soporte legal a cada productor para el cumplimiento de la normativa de residuos.

Esta relación entre las empresas y los SIG permiten el funcionamiento del modelo creado para la gestión

de los residuos. EL punto inicial de este modelo es el residuo, que parte del usuario final o cliente. Como las características de los clientes potenciales son diferentes, los canales de recogida de las pilas y acumuladores usados son múltiples. En concreto, los más habituales son tres tipos de canales:

- La recogida directa, pensada para entornos industriales y de gran consumo.
- La recogida comercial, a través de los grandes centros comerciales y las pequeñas tiendas.
- La recogida municipal, a través de los diferentes contenedores municipales utilizados y, de forma muy especial, de los puntos limpios establecidos en cada municipio.

La Figura 1, en la página siguiente, representa los canales de recogida más habituales para el caso de las pilas y baterías. Esta red de puntos de recogida es definida por los SIG en colaboración directa con las autoridades locales.

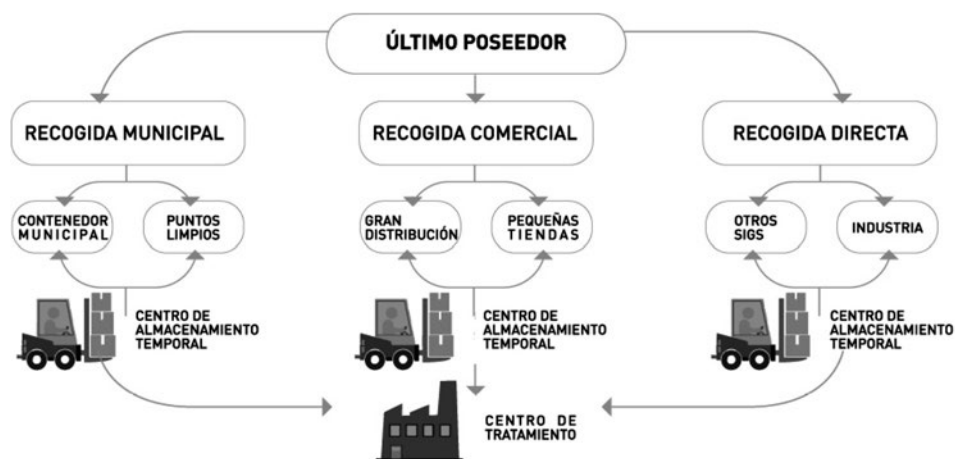
Una vez que el usuario deposite el residuo en uno de los contenedores de la red de recogida comienza el trabajo del operador logístico subcontratado para las tareas de logística inversa. En concreto, la primera tarea será la recogida y transporte de los residuos a algún almacén intermedio, denominado centro de almacenamiento temporal (CAT). En función del tipo de recogida es necesario utilizar el vehículo más adecuado para el desarrollo de un transporte eficiente. El tamaño del vehículo, la forma de operación o la gestión de autorizaciones son tareas previas necesarias para el correcto diseño de las operaciones de recogida y transporte. La recogida puede realizarse por vaciado o por sustitución. En este segundo caso, sería necesario depositar en el punto de recogida el mismo número de contenedores equivalentes a los recogidos.

La siguiente tarea será el almacenamiento de los residuos. Dado el número escaso de plantas de tratamiento, es necesario establecer lugares de almacenamiento temporal para la consolidación de los residuos recogidos previamente. Esta tarea también es llevada a cabo por el operador logístico y tiene un triple objetivo:

- La consolidación de carga, que permita la utilización de vehículos de gran tonelaje para su transporte a las plantas de tratamiento.
- La eliminación de residuos que no correspondan con los residuos buscados o envases de cartón y el uso de envases retornables.
- Realizar la clasificación de las pilas y acumuladores en caso de ser necesario. Por ejemplo, la separación de las pilas con contenido de metales pesados.

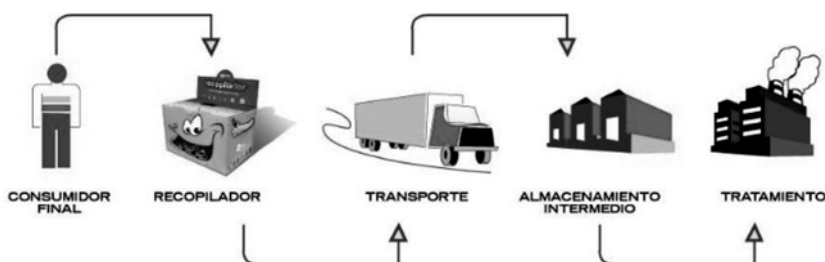
La siguiente tarea, también atribuida al operador logístico, es el transporte del almacén temporal a la planta de tratamiento. Como este transporte se rea-

FIGURA 1
CANALES DE RECOGIDA DE RESIDUOS DE PILAS Y ACUMULADORES



FUENTE: Ecopilas.

FIGURA 2
FLUJO DE RESIDUOS DE PILAS Y ACUMULADORES PARA SU TRATAMIENTO



FUENTE: Ecopilas.

liza una vez consolidada la carga, es posible la utilización de vehículos de gran capacidad para aprovechar los efectos de la economía de escala y así conseguir la reducción del coste por tonelada transportada. La carga de este transporte ha de estar bien acondicionada para facilitar las tareas de descarga en la planta de tratamiento y los envases utilizados para este transporte suelen ser retornables.

Finalmente la fase de tratamiento se realiza en alguna de las plantas de reciclaje de los residuos que haya sido previamente autorizada (Ver Figura 2). En España hay cinco plantas de tratamiento para este tipo de residuos. Las empresas autorizadas para este tratamiento son:

- Recypilas, cuya planta está ubicada en la provincia de Vizcaya
- UTE Vilomara en la provincia de Barcelona
- Recybérica Ambiental en la provincia de Madrid
- Recilec en la provincia de Sevilla
- Vaersa en la provincia de Valencia

De las plantas de tratamiento se obtienen las materias primas que alimentan parcialmente el sistema

productivo para permitir la fabricación de nuevos productos que podrán ser consumidos por los clientes o usuarios finales. De esta forma se cierra el círculo del consumo-reciclaje. Es importante señalar en este punto que las tarifas utilizadas por las plantas de tratamiento no tienen por qué ser iguales. Al ser un mercado de libre comercio, cada empresa puede utilizar las tarifas que considere más adecuadas para su posicionamiento en el mercado. De hecho muchas de estas plantas de tratamiento utilizan tarifas escalonadas, en las que el precio por tonelada tratada será función de la cantidad de toneladas anuales que el SIG envíe a esa planta (figura 2).

DISEÑO DE LOS CANALES DE RECOGIDA URBANA EN EL CASO DE LOS RESIDUOS DE PILAS Y BATERÍAS

En el caso de la recogida urbana, el diseño de los canales tiene una serie de características particulares. La alta densidad de población de muchas zonas urbanas, así como la dificultad de acceso de una furgoneta a determinados centros comerciales hacen que el diseño de los puntos de recogida tenga connotaciones especiales. Es habitual que los SIG utilicen el ratio de un contenedor por cada mil habi-

FIGURA 3
PUNTOS DE RECOGIDA EN LA CIUDAD DE MÁLAGA



FUENTE: Proyecto UPM (2013) a partir de los datos facilitados por OfiPilas.

tantes. Esto va a implicar una alta cantidad de contenedores en zonas urbanas. Lógicamente en entornos urbanos, van a darse los puntos de recogida directa, procedentes de empresas o entidades, que por el número de trabajadores o por la propia actividad empresarial, mantienen un significativo consumo de pilas y acumulares portátiles.

OfiPilas, que es la Oficina de Coordinación de las actividades de gestión de los residuos de pilas y acumuladores portátiles constituida por los SIG de pilas, clasifica en su página web el resto de puntos de recogida en dos grupos:

- Los puntos de recogida selectiva, PRS, son los contenedores específicos para pilas situados en los espacios urbanos, establecimientos comerciales, colegios, u otros lugares asimilables accesibles a los consumidores o usuarios finales.
- Los puntos de recogida municipal, PRM, son las instalaciones de recogida y almacenamiento temporal de los residuos de titularidad municipal, éstos son los que se conocen como puntos limpios móviles y puntos limpios fijos.

El diseño y rediseño de la red de puntos de recogida es uno de los primeros retos para que la gestión sea eficiente. El problema tiene connotación multicriterio, ya que son varios los criterios que se pueden considerar para la localización de los puntos de recogida. Entre estos criterios están:

- La propia distribución de la población en la zona urbana.
- La distancia entre unos puntos de recogida y otros, en el sentido de buscar su distribución uniforme en la zona urbana.

- La accesibilidad al contenedor.
- La afluencia de público, definida como la cantidad de personas que pasan junto al contenedor a lo largo de un periodo de tiempo.
- El tipo de público, relacionado con la sensibilidad del público al reciclaje y con los posibles hábitos creados para el futuro. En este sentido, los colegios pueden ser lugares de gran interés para la ubicación de contenedores.

La figura 3 muestra una imagen de la ciudad de Málaga con los puntos de recogida de residuos de pilas actualmente existentes. El color y grosor de cada punto representado dependen de la cantidad recogida. Esta imagen corresponde a una de las investigaciones realizadas por los autores de este artículo.

Un segundo punto a analizar es el tiempo empleado en las diferentes tareas de recogida de los residuos de la red diseñada. El diseño de rutas eficientes y el conocimiento de los tiempos medios de transporte y recogida de cada punto facilitan la organización de las actividades de logística inversa. Por otra parte, las normativas urbanas de carga y descarga de cada municipio van a condicionar de forma directa la gestión de la recogida de los puntos que integran la red. La cuantificación de estos tiempos va a permitir estudios de mejora y optimización de las diferentes actividades logísticas que integran la gestión de los residuos.

Para poder estimar con mayor precisión estos tiempos así como los problemas asociados a cada tipo de punto de recogida, los autores, a través de un proyecto de investigación llevado a cabo en la Universidad Politécnica de Madrid, participaron en un estu-

**CUADRO 2
VELOCIDADES MEDIAS ASIGNADAS
AL TIPO DE POBLACIÓN**

Tipología de población	Velocidad media obtenida
Menor de 50.000 habitantes	31,05 km/h
Mayor de 50.000 habitantes	18,90 km/h

FUENTE: Elaboración propia. Basado en el estudio de campo realizado por los autores en uno de los proyectos de investigación UPM)

dio de campo en el que se realizaron rutas concretas de recogida de estos residuos durante octubre de 2013 en la Comunidad de Madrid.

Entre las conclusiones relativas al transporte, se obtuvieron las velocidades medias mostradas en el cuadro 2.

Con relación a los tiempos de recogida, el estudio mostraba que las diferencias entre los diferentes municipios eran mínimas. El tiempo medio obtenido para poblaciones inferiores a 50.000 habitantes fue 4,10 minutos, mientras que el obtenido para el resto de las poblaciones fue de 5 minutos. Sin embargo, el estudio sí observó que el tiempo de recogida de los contenedores ubicados en centros comerciales superaba ampliamente estos tiempos medios. El principal motivo de este incremento está en la necesidad de aparcar la furgoneta a una distancia considerable de la unidad de almacenamiento en los centros comerciales. Esta situación provoca que el desplazamiento realizado por el trabajador sea mucho mayor que en el caso del resto de punto de recogida.

Como conclusión de las observaciones realizadas, los datos asignados en este estudio para los tiempos de recogida, quedan resumidos en el cuadro 3.

Un último punto a considerar en el diseño de los canales de recogida urbana es el tiempo de preparación y manipulación de residuos. Este tiempo incluye un conjunto de tareas necesarias en la actividad logística de la recogida capilar. Algunas de estas tareas son previas a la actividad de transporte, como puede ser la preparación de la furgoneta con los contenedores receptores de las pilas portátiles, y otras actividades son posteriores, como la descarga de las pilas en el almacenamiento temporal, la retirada de residuos no válidos, el pesaje de las pilas o la limpieza de la furgoneta.

Nuevamente, el estudio citado permitió estimar este tiempo con cierta precisión. Cuando la ruta a realizar por el trabajador incluía su jornada diaria completa, se observó que el tiempo destinado al transporte y a la recogida sumaban 7 horas, mientras que una hora era dedicada a las tareas agrupadas en el denominado tiempo de manipulación. Esto permite concluir que, cuando la ruta implica jornadas de trabajo completas, el tiempo de manipulación es de una hora.

Sin embargo, cuando las rutas contienen un número de puntos de recogida menor al correspondiente

**CUADRO 3
TIEMPOS MEDIOS ASIGNADOS A LA RECOGIDA
DE PILAS PORTÁTILES**

Ubicación del punto de recogida	Tiempo de recogida obtenido
Menor de 50.000 habitantes	4,1 minutos
Mayor de 50.000 habitantes	5,0 minutos
Centros Comerciales	13,3 minutos

FUENTE: Elaboración propia. Basado en el estudio de campo realizado por los autores en uno de los proyectos de investigación UPM)

a una jornada de 8 horas de trabajo, el tiempo de manipulación será significativamente menor. Una primera aproximación utilizada por los investigadores de la UPM basa el tiempo de manipulación mínimo en 15 minutos por ruta y su crecimiento lineal con relación al número de puntos de recogida.

Otro de los aspectos a considerar en el diseño de la red de gestión de residuos de pilas y acumuladores es la cantidad y ubicación de los centros de almacenamiento temporal. Un mayor número de almacenes disminuye el coste de transporte, pero incrementa el coste de almacenamiento. Y lógicamente, disminuir el número de almacenes encarecerá las actividades de transporte y abaratará las de almacenamiento. Se trata, por tanto, de un *trade-off*, en el que el reto es asignar el número adecuado de almacenes que minimice la suma de los costes de transporte y almacenamiento.

Todos estos datos y consideraciones pueden facilitar el análisis de los elementos clave para el diseño de posibles mejoras de los sistemas de gestión actualmente aplicados en los residuos de pilas y acumuladores.

PROCESOS DE MEJORA EN EL DISEÑO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE PILAS

Al ser tan variadas y complejas las actividades que comprenden la gestión de los residuos de pilas y acumuladores son múltiples las posibilidades de mejora. La influencia de cada una de ellas puede ser variada, pero es necesario abordar diferentes cuestiones para conseguir gestiones de residuos globalmente eficientes. Una de las formas más atractivas de analizar las posibles mejoras es la utilización de herramientas matemáticas de optimización que permitan estudios cuantitativos de las diferentes actividades que integran la gestión de los residuos. En concreto, modelos matemáticos van a facilitar la búsqueda de soluciones más eficientes.

La complejidad de las situaciones debida a la gran cantidad de residuos obliga a hipótesis de simplificación para su posible análisis. Sin embargo estas hipótesis no deben restar valor a las conclusiones obtenidas, ya que se trata de tendencias globales. La revisión permanente de las hipótesis de simplificación es condición necesaria para la validación del modelo diseñado. La variabilidad de los datos que pueden

alimentar los modelos propuestos es grande, lo que implica tratamientos estadísticos complementarios necesarios para el acercamiento a la realidad.

Algunos de los procesos de mejora identificados en este artículo se describen en los siguientes apartados.

Localización de los puntos de recogida

Modelos de localización y de cobertura pueden facilitar la difícil tarea de la localización de los puntos de recogida. Cuando el número de puntos es limitado, ya que el núcleo urbano no tiene gran cantidad de habitantes, la programación lineal puede resolver de forma eficiente el problema. Sin embargo, cuando tenemos un número elevado, las dificultades derivadas del alto número de variables limitan las posibilidades de la programación lineal. En este caso, la solución puede pasar por la utilización de técnicas heurísticas, que proporcionan soluciones aceptables en tiempos razonables.

Sin embargo, los modelos de localización van a requerir la localización geográfica exacta de cada uno de los puntos candidatos a ser puntos de recogida. Esto es necesario para el cálculo de las matrices de distancias entre puntos que permita distribuciones más acordes con la densidad de población y con mayor uniformidad geográfica. Para ello, y dado el gran número de puntos utilizados es necesaria la utilización de herramientas informáticas que geocodifiquen los puntos candidatos.

También es necesario recordar que esta decisión no depende únicamente de las condiciones geográficas. Aspectos asociados a cada punto candidato, como es la accesibilidad, la afluencia o el tipo de público deben también ser considerados en la decisión. El objetivo último no es distribuir geográficamente los puntos de recogida sino maximizar el número de toneladas de residuos recogidos. Por tanto, el modelo ha de considerar varios criterios, lo que complica aún más su diseño.

Tamaño y cantidad de contenedores asignados a cada punto de recogida

La frecuencia de visita a los puntos de recogida para la recepción de los residuos y su transporte a los centros de almacenamiento va a depender del tamaño y cantidad de contenedores asignados a cada uno de estos puntos. Los datos históricos de cada punto juegan un papel esencial para este cálculo. La utilización de técnicas estadísticas y el conocimiento de aspectos cualitativos asociados al punto de recogida deben facilitar la asignación más adecuada a cada uno de ellos.

Esta asignación está directamente relacionada con el diseño de las rutas y los costes de transporte. Nuevamente vuelve a aparecer un *trade-off*, que re-

laciona los costes de los contenedores con los costes de transporte. La obligación de recoger cada contenedor una vez al año debe ser incluida en la solución propuesta, aunque en entornos urbanos esta obligación será cubierta fácilmente en la mayoría de los casos.

Rutas de recogida

Este problema es un clásico en los estudios de logística. Según sea su concreción se domina TSP (Traveling Salesman Problem) o VRP (Vehicle Routing Problem), dependiendo de la posibilidad de utilizar un vehículo o varios para la recogida de los residuos. Se trata de diseñar las rutas de recogida de los contenedores que contienen los residuos en los puntos que integran la red. Las posibilidades son múltiples que dependerán de los aspectos organizativos asociados a la gestión. Por ejemplo, se puede establecer el criterio de recoger los contenedores cuando tengan, al menos, un 75% de contenido cubierto, o fijando rutas fijas independientemente de la cantidad contenida. Evidentemente la herramienta de ayuda a la decisión tendrá como objetivo minimizar el coste de transporte asociado a esta recogida.

Tal y como se ha indicado anteriormente la decisión de las rutas de recogida va a estar directamente relacionada con la localización de los puntos de recogida que integran la red y por el tamaño y cantidad de contenedores asignados a cada punto.

Existencia y localización de los centros de almacenamiento temporal

El gasto de almacenamiento y transporte va estar directamente relacionado con el número y localización de los CAT. El diseño de modelos basados en la programación lineal puede ayudar a este tipo de decisión. Además, como la cantidad de residuos recogidos tiene cierto carácter estocástico, y las diferentes alternativas de ubicación de CAT son múltiples, la simulación también puede ser una herramienta que ayude en esta decisión.

Se trata, en cualquier caso, de integrar los gastos de almacenamiento y de transporte en el análisis cuantitativo de esta decisión, para abordar el *trade-off* asociado de forma global.

La selección de las plantas de tratamiento

La diferente tarifa aplicada por cada uno de los centros de tratamiento complica su selección, al tiempo que permite alternativas más económicas para el reciclaje de los residuos. Además estas tarifas suelen ser escalonadas, en función de la cantidad anual proporcionada. Al factor del precio de tratamiento se une el de la distancia del CAT. Nuevamente es necesario abordar este *trade-off* de forma global, integrando todos los costes asociados en su análisis.

**CUADRO 4
RESUMEN DE LOS POSIBLES PROCESOS DE MEJORA EN LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE PILAS Y ACUMULADORES**

Proceso de mejora	Tipo de problema	Herramientas de resolución
Localización puntos de recogida	Modelos de: <ul style="list-style-type: none"> • localización • cobertura 	<ul style="list-style-type: none"> • Programación lineal • Técnicas heurísticas • Técnicas decisión multicriterio • Geocodificación
Tamaño y cantidad contenedores	Gestión <i>trade-off</i> entre: <ul style="list-style-type: none"> • Coste contenedor • Coste transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Técnicas estadísticas • Gestión de <i>trade-off</i>
Rutas de recogida	<ul style="list-style-type: none"> • Traveling Salesman Problem (TSP) • Vehicle Routing Problem (VRP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Programación lineal • Múltiples posibilidades según criterios • Posibilidad de rutas fijas
Existencia y localización de centros de almacenamiento	Gestión <i>trade-off</i> entre: <ul style="list-style-type: none"> • Coste almacenamiento • Coste transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Programación lineal • Simulación • Gestión de <i>trade-off</i>
Selección plantas de tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de costes • Aplicación de tarifas escalonadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de <i>trade-off</i> integrando costes asociados
Impacto ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Inclusión de aspectos ambientales en las actividades logísticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración del impacto ambiental • Inclusión alternativas sostenibles

FUENTE: Elaboración propia.

Impacto medio ambiental de la recogida capilar

Finalmente es necesario señalar que toda la gestión de residuos tiene un objetivo ambiental. Por tanto, no es únicamente el aspecto económico el que debe primar en las múltiples decisiones asociadas al diseño de la recogida de residuos de pilas y acumuladores. Factores ambientales relacionados con el transporte, el tratamiento o la manipulación de algunas mercancías peligrosas por su alto impacto contaminante deben ser igualmente incluidos en los análisis cuantitativos. Posibilidades como la recogida con vehículos eléctricos en el centro de las ciudades o la utilización de mayor número de CAT para disminuir las emisiones de CO₂ derivadas del transporte deben ser razonablemente incluidas en los análisis de este tipo de logística por coherencia con el objetivo último.

El cuadro 4 muestra un resumen de los posibles procesos de mejora en la gestión de los residuos de pilas y acumuladores.

CONCLUSIONES

La gestión de residuos de pilas y acumuladores es relativamente reciente tanto en Europa como en España. La primera normativa nacional que incluye las obligaciones de los productores, detallando indicadores, a partir de fechas concretas, de porcentaje de cantidades recogidas de estos residuos sobre cantidades comercializadas, es del año 2008. El Real Decreto 106/2008 estableció una normativa que ha condicionado el escenario para la gestión de los residuos de pilas y acumuladores.

Los principios de sostenibilidad y la necesidad de iniciativas que potencien un sistema productivo más respetuoso con el medio ambiente, hacen del reci-

claje un pilar fundamental, siendo la gestión de residuos una herramienta imprescindible para su desarrollo. Amplios sectores de la sociedad demandan productos y servicios que no agoten los recursos naturales. Las diferentes normativas europeas y españolas relacionadas con la gestión de los residuos también avanzan en esa línea. La evolución de los objetivos ecológicos de recogida, tratamiento y reciclaje detallados en el Real Decreto 106/2008 da muestra de esta tendencia. Todo apunta a que estos objetivos se irán incrementando en los próximos años.

Como toda actividad productiva y logística, la gestión de los residuos de pilas y acumuladores está sujeta a procesos de mejora en búsqueda de alternativas más eficientes. Dado el carácter novedoso de esta gestión y la complejidad derivada de la gran cantidad de residuos generados, las posibilidades de mejora son muchas y en múltiples aspectos. Aprovechando la experiencia de la logística directa, ampliamente desarrollada en el mercado productivo, la logística inversa puede utilizar las herramientas de análisis cuantitativo y de optimización de procesos.

En concreto, desde este documento se proponen una serie de posibles áreas en las que las decisiones pueden incrementar la eficiencia de la gestión de estos residuos. Estas áreas son: la localización de los puntos de recogida, el tamaño y cantidad de contenedores asignados a cada punto de recogida, el diseño de las rutas de recogida, la cantidad y localización de los centros de almacenamiento temporal, la selección más atractiva de las plantas de tratamiento y el propio análisis del impacto medio ambiental de la recogida de residuos.

De todos los actores que participan en los procesos de recogida y tratamiento de residuos, hay dos que van a influir de forma directa en la eficiencia del proceso completo. Estos dos actores son los SIG, como

diseñadores de la gestión de los residuos y los operadores logísticos, como ejecutores de las principales tareas logísticas que integran el proceso. De ellos depende la cantidad de recursos necesarios para el cumplimiento de los objetivos ecológicos concretados en las normativas vigentes.

BIBLIOGRAFÍA

ATASU, A., SUBRAMANIAN, R. (2012). «Extended Producer Responsibility for E-Waste: Individual or Collective Producer Responsibility?». *Production and Operations Management*, Vol. 21, nº 6, pp.1042-1059.

CHAMORRO, A., RUBIO, S. «Los sistemas de distribución inversa para la recuperación de residuos: su desarrollo en España. Distribución y consumo, 2004». http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_DYC/DYC_2004_76_59_70.pdf

DEL CAMPO, M. Proyecto Fin de Carrera. Análisis del sistema de logística inversa de pilas portátiles en España. Propuesta de modelo de localización. Universidad Politécnica de Madrid. 2010.

DRUCKER, P.F. (1962). *The economy's Dask Continent*, Fortune. Abril.

ECOPILAS. Información de su página web. En <http://www.ecopilas.es/>

ERP. Información de su página web. <http://www.erp-recycling.es/>

HAWKS, K.(2006). VP Supply Chain Practice, Navesink. *Reverse Logistics Magazine*, Winter/Spring.

MAGEE, J.F. (1967) *Industrial Logistics*, McGraw-Hill.

OFIPILAS. Información de su página web. <http://www.ofipilas.es/>

PITA, F. (2011). Proyecto Fin de Carrera. Propuesta de Modelo de localización para la ubicación de puntos de recogida de pilas. Universidad Politécnica de Madrid..

PORTER, M (1987). *Ventaja Competitiva: Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. Ed. Continental.