

# APLICACIÓN DE GVSIG EN UN ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DEL TRANSPORTE DE RESIDUOS

Enrique Moliner Santistevé<sup>1,\*</sup>, Rosario Vidal Nadal<sup>1</sup>, Daniel Garraín Cordero<sup>2</sup>, Cristina Gasch García<sup>1</sup>, Inocencio Muñoz Suárez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Ingeniería del Diseño (GID), Universitat Jaume I, Castellón, España

<sup>2</sup> Dpto. de Energía, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Madrid, España

\* e-mail de contacto: kike.moliner@gmail.com

## Resumen

Uno de los principales problemas de la gestión de residuos en la provincia de Castellón es la escasez de instalaciones de tratamiento y la inapropiada distribución geográfica de las instalaciones existentes. Un ejemplo de esta situación son las instalaciones de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU). La mayoría de instalaciones se han colmado en los últimos años, mientras que la implantación de nuevas instalaciones se está demorando. Como consecuencia, muchos RSU generados en la provincia de Castellón se transportan hasta la provincia de Alicante. En este estudio se usa un Sistema de Información Geográfica y se incorporan los indicadores de huella de carbono y huella ecológica para evaluar el impacto ambiental del transporte de RSU en la provincia de Castellón. Se evalúa la huella del transporte de RSU en el escenario actual y en el escenario futuro –cuando operen las instalaciones de tratamiento previstas– y se comparan los resultados para determinar el impacto ambiental ocasionado por la demora en la implantación de nuevas instalaciones.

**Palabras clave:** huella ecológica, huella de carbono, transporte de residuos, Sistema de Información Geográfica

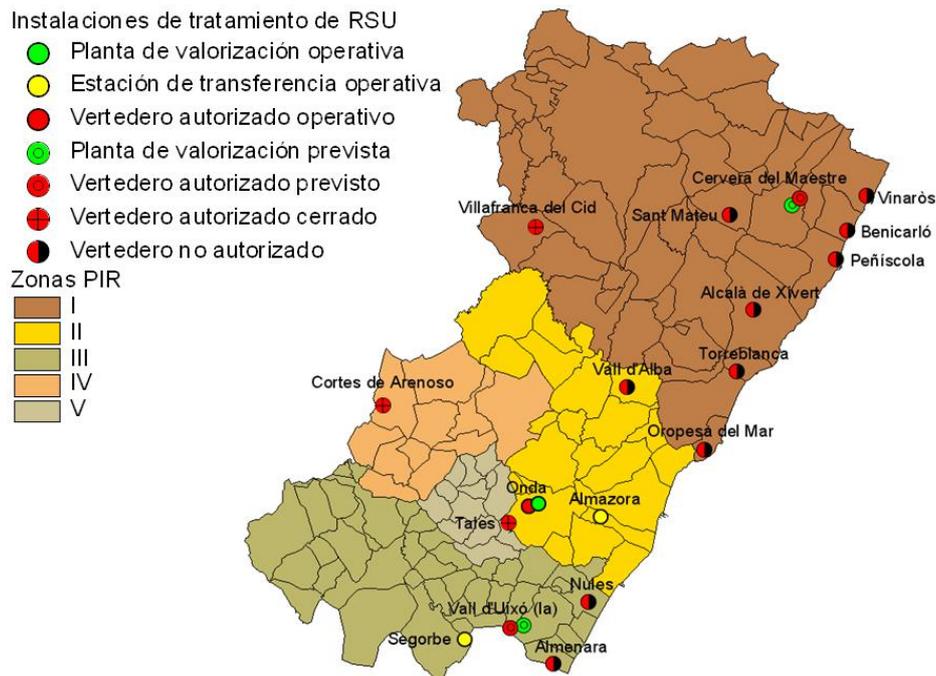
## 1. Introducción

Uno de los aspectos más alarmantes de la gestión de residuos en la provincia de Castellón es la escasez de instalaciones de tratamiento y la inapropiada distribución geográfica de las instalaciones existentes (Vidal et al., 2009). Esta situación es contraria a los principios de autosuficiencia y proximidad que deben regir la gestión de residuos (MARM, 2008) y deriva en costes de transporte excesivos, tanto económicos como medioambientales y sociales. El ejemplo más claro de esta situación son las instalaciones de tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU). Actualmente, sólo opera una instalación autorizada de tratamiento de RSU en toda la provincia de Castellón, la planta de compostaje de Onda y su vertedero anexo, que da respuesta a 45 municipios de las comarcas centrales, siendo los únicos que tratan sus basuras de acuerdo a la Ley de Residuos. El reciente cierre del vertedero de Villafranca del Cid, ubicado en el norte de la provincia, ha supuesto que 27 municipios de las comarcas del norte se vean obligados a transportar sus basuras hasta Jijona (Alicante), que se halla a casi 300 kilómetros. El traslado de basuras hasta Alicante no es una novedad en la provincia de Castellón. El cierre de los vertederos de Cortes de Arenoso y Tales, en 2007 y 2008 respectivamente, ya causó que 41 municipios de las comarcas del sur de la provincia decidieran trasladar los residuos hasta Villena (Alicante). Además, hay una serie de municipios en el norte de la provincia que no disponen de instalaciones autorizadas próximas y han venido destinando sus residuos a vertederos ilegales.

El origen de tal situación reside en la incapacidad de la Generalitat Valenciana a la hora de ejecutar los Planes Zonales de Residuos de la Comunidad Valenciana (PZRCV, CMAAUV, 2001, 2002 y 2004), todos con más de cinco años de vigencia. Los PZRCV dividen la provincia en cinco zonas, para las que establecen las infraestructuras necesarias para garantizar la gestión correcta de los RSU (Figura 1). La Zona PIR I abarca el norte de la provincia y le corresponde la implantación de una planta de tratamiento de RSU con un vertedero anexo. En 2002 se decidió que esta planta se construiría en Cervera del Maestre pero, desde entonces, se ha alternado la elección de emplazamientos debido al rechazo social. Finalmente, la construcción de la planta en Cervera del Maestre ya dispone de la autorización ambiental, aunque no ocurre lo mismo con el vertedero al que deben ir los rechazos de la planta. La Zona PIR II abarca la mayor parte de la zona central de la provincia y es la única que tiene solucionado el servicio de gestión de RSU y ejecutadas

sus infraestructuras. La basura de los municipios más poblados de esta zona se compacta en la estación de transferencia de Almazora, desde donde se traslada hasta la planta de tratamiento de Onda. La planta de tratamiento y el vertedero de Onda se han ampliado para acoger también los residuos generados en las Zonas PIR IV y V. La Zona PIR III abarca el sur de la provincia y también le corresponde la implantación de una planta de tratamiento de RSU y un vertedero. En 2003 se decidió construir estas instalaciones en la Vall d'Uixó, pero han sucedido una serie de problemas que han demorado su implantación. La demora en la construcción de todas estas instalaciones tiene unas repercusiones muy negativas. Por un lado, se vierten de forma incontrolada, sin recibir tratamiento previo, cerca de 70.000 toneladas anuales de RSU (en torno al 25% de los RSU de la provincia). Por otro lado, más de 50.000 toneladas anuales de RSU (en torno al 18% de los RSU de la provincia) se trasladan hasta la provincia de Alicante para recibir tratamiento, con los consiguientes costes económicos e impactos ambientales y sociales del transporte (Vidal et al., 2009).

**Figura 1. Zonas PIR e instalaciones de tratamiento de RSU**



## 2. Objetivos

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto ambiental del transporte de los RSU generados en la provincia de Castellón. El impacto ambiental se expresará mediante los indicadores de huella de carbono y de huella ecológica. Se evaluará la huella del transporte de RSU en el escenario actual y en el escenario futuro, una vez estén operando las instalaciones de tratamiento de RSU previstas en los PZRCV (CMAAUV, 2001, 2002 y 2004). Finalmente, se compararán los resultados obtenidos para ambos escenarios. La finalidad de esta comparación es determinar el impacto ambiental ocasionado por la demora en la implantación de nuevas instalaciones que deben sustituir a las instalaciones cerradas durante los últimos años en la provincia.

## 3. Metodología

En este estudio se aplica la metodología de la huella ecológica sobre el consumo de combustibles fósiles asociado al transporte de RSU en la provincia de Castellón. En el estudio también se usa un Sistema de Información Geográfica (GIS). A continuación, se describen las etapas abordadas para desarrollar el estudio.

### 3.1. Elaboración de escenarios

Este estudio requiere una etapa inicial de recopilación de información para conocer la configuración actual y futura de la gestión de residuos en la provincia de Castellón. Es necesario conocer la generación de RSU en la provincia de Castellón y el destino que reciben.

## Generación de residuos

Los datos sobre generación de RSU se obtienen del “Mapa de Residuos de la provincia de Castellón” (Vidal et al., 2009). Este trabajo proporciona un inventario de los residuos producidos en cada municipio de la provincia de Castellón en 2008, considerando distintas categorías de residuos entre las que se incluyen los RSU. Los datos de generación anual de RSU extraídos del citado estudio se usan para modelar el escenario actual y el escenario futuro. Dado que el objetivo del estudio es comparar el impacto del transporte de RSU de ambos escenarios, no tiene sentido suponer una generación de RSU diferente para cada escenario.

## Instalaciones de tratamiento de residuos

El “Mapa de Residuos de la provincia de Castellón” (Vidal et al., 2009) también proporciona información sobre la gestión ambiental que reciben actualmente los RSU en la provincia de Castellón. Los PZRCV (CMAAUV, 2001, 2002 y 2004) y el Plan Integral de Residuos de la Comunidad Valenciana 2010 (PIR10, CMAAUV, 2010) describen las instalaciones de tratamiento de RSU previstas para el futuro. En base a estas fuentes se determinan las instalaciones de tratamiento de RSU –incluyendo estaciones de transferencia, plantas de valorización y vertederos autorizados– que operan actualmente y las que operarán en el futuro. De este modo, se determina la localización geográfica de las instalaciones y se establece a qué municipios de la provincia de Castellón prestan servicio en la actualidad y/o prestarán servicio en el futuro cada una de ellas.

## Logística del transporte de residuos

Para el desarrollo del estudio se considera que la recogida de RSU se efectúa a diario en todos los municipios de la provincia de Castellón. Además, se distinguen dos vehículos para el transporte de RSU: un vehículo compactador que realiza la recogida intramunicipal y el transporte hasta la estación de transferencia o planta de tratamiento, según corresponda; y otro vehículo de mayor capacidad que realiza el transporte desde la estación de transferencia hasta la planta de tratamiento (Tabla 1). Considerando la carga útil de los vehículos, se asigna el número de camiones de recogida de residuos (vehículo 1) que requiere cada municipio en base a su generación media diaria de RSU. En los municipios donde la generación diaria de RSU no cubre la capacidad de un camión se realiza una recogida mancomunada. Es decir, un mismo camión recorre varios municipios realizando la recogida de RSU y, finalmente, los transporta hasta la instalación de tratamiento correspondiente. En este caso, se asigna la fracción relativa de camión (vehículo 1) que le corresponde a cada municipio. Por otro lado, el transporte de RSU entre estaciones de transferencia y plantas de tratamiento se realiza a medida que se llenan los camiones-tráiler (vehículo 2) en las estaciones de transferencia. Es decir, un mismo camión carga RSU procedentes de varios municipios y, una vez cubierta su capacidad, los transporta hasta la planta de tratamiento. En este caso, se asigna el número de camiones-tráiler (vehículo 2) que requiere cada municipio en función de su generación anual de RSU y de la capacidad de estos vehículos.

**Tabla 1. Características de los vehículos de recogida y transporte de RSU**

Características	Vehículo 1	Vehículo 2
Operaciones	Recogida y transporte hasta estación de transferencia o planta de tratamiento	Transporte desde estación de transferencia hasta planta de tratamiento
Tipo de vehículo	Camión compactador rígido	Camión-tráiler articulado
Tipo de combustible	Diesel	Diesel
Capacidad del contenedor (m <sup>3</sup> )	12,6	39
Peso en vacío (kg)	8.880	19.865
Peso de carga útil (kg)	5.500	20.135
Peso bruto (kg)	14.380	40.000

### 3.2. Cálculo de las distancias recorridas por los vehículos

Una vez conocido el destino (intermedio y/o final) de los RSU generados en cada municipio, se usa un GIS para determinar los recorridos que realizan los camiones de recogida y transporte. En concreto, se utiliza el software gvSIG y su extensión Redes para calcular las rutas óptimas para ir desde un origen hasta un destino (y regresar) en el menor tiempo posible. El GIS permite resolver un problema de grafos donde se asigna un origen (municipio), unas paradas intermedias (otros municipios en el caso de recogida compartida entre varios municipios), un destino (instalación de tratamiento) y una red de caminos posibles (carreteras) con un coste asociado (velocidad). Para realizar los cálculos se introduce en el GIS un mapa de los municipios de la

provincia de Castellón y de las instalaciones de tratamiento actuales y previstas para el futuro. Asimismo, se introduce un mapa de carreteras, en el que se distinguen tres tipos de carreteras y se les asigna una velocidad media para los camiones (Burón et al., 2004): autopistas y autovías (70 km/h), vías interurbanas (50 km/h) y vías urbanas (14 km/h). Mediante la extensión Redes se identifican las rutas que realizan los camiones de recogida (vehículo 1), ya sea una ruta directa entre un municipio y una instalación de tratamiento o bien una ruta compartida a través varios municipios antes de ir a parar a la instalación de tratamiento. Del mismo modo, se identifican las rutas que realizan los camiones-tráiler (vehículo 2) entre las estaciones de transferencia y las plantas de tratamiento. En ambos casos se determina y se contabiliza el recorrido de ida hasta la instalación de tratamiento y el recorrido de vuelta hasta el origen. Por el contrario, no se contabiliza el recorrido de recogida de contenedores a nivel intramunicipal ni el transporte de rechazos de las plantas de valorización hasta los vertederos anexos. Estos recorridos y sus impactos ambientales asociados difieren muy poco entre el escenario actual y el escenario futuro, de modo que no interfieren en la comparación.

### **3.3. Cálculo de la huella de carbono y de la huella ecológica**

A partir de las etapas anteriores se obtienen los siguientes datos: número de camiones de recogida y transporte de RSU (vehículo 1) usados anualmente por cada municipio, número de camiones-tráiler de transporte de RSU (vehículo 2) usados anualmente por cada municipio, y distancias recorridas por estos vehículos. En base a estos datos se calculan los kilómetros totales recorridos por cada tipo de vehículo para dar respuesta a los RSU de cada municipio. Llegados a este punto, es posible calcular el consumo de combustible, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la huella ecológica del transporte de los RSU de cada municipio.

#### **Consumo de combustible**

Para calcular el consumo total de combustible asociado a cada municipio, se consideran unas ratios de consumo medio de diesel de 0,249 litros por kilómetro para vehículos de tipo 1 y de 0,331 litros por kilómetro para vehículos de tipo 2 (Léonardi & Baumgartner, 2004).

#### **Emisiones de CO<sub>2</sub>**

Para calcular la huella de carbono de cada municipio se aplica una ratio de emisiones de CO<sub>2</sub> por litro de combustible sobre los resultados de consumo de combustible asociados a cada municipio. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) esta ratio es del orden de 74.100 kilogramos por terajulio de diesel (IPCC, 2006), lo que equivale a 2,65 kilogramos de CO<sub>2</sub> por litro de diesel consumido.

#### **Huella ecológica**

La huella ecológica evalúa el impacto de la acción humana sobre el medio ambiente en términos de superficie de tierra necesaria para absorber tal impacto (Wackernagel & Rees, 1995). La huella ecológica del consumo de combustibles fósiles se representa mediante la superficie forestal necesaria para absorber las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por dicho consumo. Por lo tanto, para calcular la huella ecológica de cada municipio se parte de los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> asociados a cada municipio y se aplica una ratio de absorción de carbono por parte de la masa forestal. En general, esta ratio se estima en 5,21 toneladas de CO<sub>2</sub> absorbidas anualmente por cada hectárea de masa forestal (IPCC, 2001). Sin embargo, en el presente estudio se opta por emplear una ratio de 3,7 toneladas de CO<sub>2</sub> absorbidas anualmente por cada hectárea de bosque mediterráneo (Tello, 2002). Por último, las hectáreas de masa forestal necesarias para absorber el CO<sub>2</sub> asociado al transporte de los RSU generados en cada municipio se comparan con las hectáreas de masa forestal disponibles en los municipios. Las superficies forestales de cada municipio se obtienen del Proyecto CORINE Land Cover (CLC), que proporciona una base de datos de ocupación del suelo para el año 2000.

### **3.4. Evaluación de escenarios**

Una vez obtenidos los impactos ambientales del transporte de los RSU generados en la provincia de Castellón en el escenario actual y en el escenario futuro, se realiza un análisis comparativo entre los impactos ambientales de ambos escenarios. La finalidad de este análisis es determinar el impacto ambiental ocasionado por la demora en la implantación de las nuevas instalaciones de tratamiento que deben sustituir a las instalaciones cerradas durante los últimos años en la provincia.

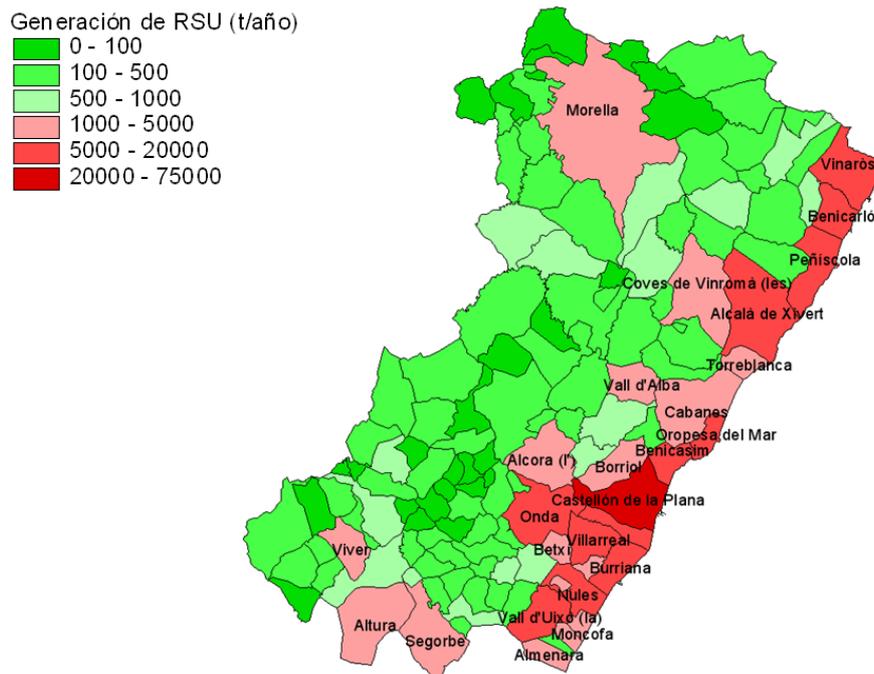
## 4. Resultados

A continuación, se ofrecen los resultados relativos a la huella de carbono y huella ecológica del transporte de los RSU de la provincia de Castellón para el escenario actual y para el escenario futuro. Finalmente, se presenta la comparación de los resultados obtenidos para ambos escenarios.

### 4.1. Escenario actual

En la Figura 2 se muestra la distribución geográfica de la generación anual de RSU en la provincia de Castellón. La generación de RSU se concentra principalmente sobre la franja litoral, que es donde se sitúan los municipios más poblados.

**Figura 2. Generación anual de RSU en la provincia de Castellón (Fuente: Vidal et al. (2009))**



En la actualidad, los RSU originados en la provincia de Castellón tienen diferentes destinos según la Zona PIR (Figura 1) a la que pertenecen los municipios donde se originan:

- Tras el cierre del vertedero autorizado de Villafranca del Cid, los municipios de la Zona PIR I que destinaban sus RSU a esta instalación (27 municipios) están destinándolos al vertedero autorizado de Jijona (Alicante). Los camiones de recogida transportan los residuos hasta el antiguo vertedero de Villafranca del Cid –convertido temporalmente en una estación de transferencia–, desde donde se transportan hasta Jijona en camiones-tráiler de mayor capacidad.
- Los municipios de la Zona PIR II (21 municipios) destinan sus RSU a la planta de valorización de Onda. Los municipios con mayor generación de residuos (Almazora, Benicasim, Burriana, Castellón de la Plana y Villarreal) hacen uso de la estación de transferencia de Almazora.
- Tras el cierre del vertedero autorizado de Tales, los municipios de la Zona PIR III (41 municipios) destinan sus RSU al vertedero autorizado de Villena (Alicante). Los camiones de recogida transportan los residuos hasta la estación de transferencia de Segorbe, desde donde se transportan hasta Villena en camiones-tráiler de mayor capacidad.
- Tras el cierre de los vertederos de Cortes de Arenoso y Tales, los municipios de la Zona PIR IV (11 municipios) y de la Zona PIR V (13 municipios) destinan sus RSU a la planta de valorización de Onda.

La Figura 3 muestra un mapa del escenario actual de transporte de RSU en la provincia de Castellón. Este mapa incluye el destino final de los RSU de cada municipio y las rutas recorridas por los camiones entre las estaciones de transferencia y las plantas de valorización. Puede observarse que ciertos municipios de la Zona

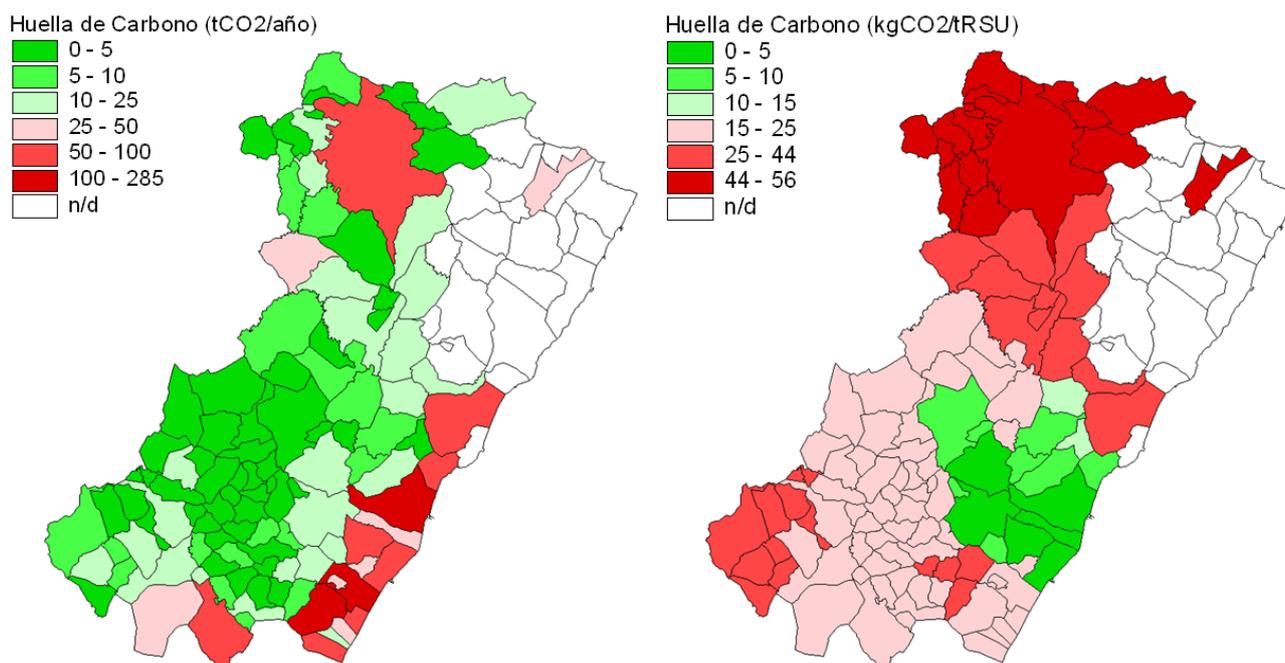
PIR I destinan sus RSU a vertederos ilegales. Esto supone que cerca de 70.000 toneladas anuales de RSU no reciben tratamiento de valorización y se eliminan de forma incontrolada. El impacto ambiental del transporte en estos casos no es preocupante, ya que los municipios que realizan el vertido incontrolado lo hacen en vertederos ilegales cercanos. No obstante, los riesgos ambientales del vertido incontrolado son numerosos: contaminación del suelo, agua y atmósfera; impacto sobre la biodiversidad y los ecosistemas; impacto paisajístico; agotamiento de recursos naturales; y daños sobre la población. Estos municipios no se han incluido en la evaluación de la huella del transporte de RSU, debido a que se desconoce el destino concreto de sus residuos. También puede observarse que el transporte de RSU en la actualidad es especialmente crítico para los municipios de las Zonas PIR I y III. Por un lado, más de 8.600 toneladas de RSU generadas en la Zona PIR I se transportan anualmente desde la estación de transferencia temporal de Villafranca del Cid hasta el vertedero de Jijona, recorriendo cada camión 584 kilómetros (considerando ida y vuelta). Por otro lado, más de 43.800 toneladas de RSU generadas en la Zona PIR III se transportan anualmente desde la estación de transferencia de Segorbe hasta el vertedero de Villena, recorriendo cada camión 329 kilómetros (considerando ida y vuelta). Estos transportes interprovinciales de RSU, junto con el vertido incontrolado, son los aspectos más problemáticos de la gestión actual de RSU en la provincia de Castellón.

**Figura 3. Escenario actual de transporte de RSU**



La Figura 4 muestra los resultados de huella de carbono en los municipios de la provincia de Castellón en el escenario actual, tanto en términos absolutos como en términos relativos (respecto a las cantidades de RSU transportadas). Puede deducirse que los municipios con mayor generación de RSU (Figura 2) son los que producen mayor impacto ambiental en términos absolutos como resultado del transporte de residuos. Sin embargo, si se evalúan las emisiones de CO<sub>2</sub> en términos relativos, se observa que los municipios con mayor impacto ambiental por tonelada de RSU transportada pertenecen a la Zona PIR I, seguidos de los municipios de la Zona PIR III. Como era de esperar, los municipios que realizan transportes interprovinciales de residuos causan mayor impacto ambiental relativo. Para dar una idea de la gravedad de la situación basta con comparar los municipios de Castellón de la Plana y la Vall d'Uixó, pertenecientes a las Zonas PIR II y III, respectivamente. Castellón de la Plana es el municipio con mayor generación de RSU con 72.066 toneladas anuales de RSU. Por su parte, la Vall d'Uixó genera 13.550 toneladas anuales de RSU (no llega al 19% de la generación de Castellón de la Plana). Sin embargo, la Vall d'Uixó se sitúa a la cabeza en cuanto a emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte de RSU, con 281,2 toneladas anuales (20,75 kgCO<sub>2</sub>/tRSU) frente a las 257,5 toneladas anuales de Castellón de la Plana (3,57 kgCO<sub>2</sub>/tRSU). Esto pone de manifiesto que existe una necesidad urgente de mejorar la disponibilidad de instalaciones de tratamiento en la provincia de Castellón, empezando por las Zonas PIR I y III.

**Figura 4. Huella de carbono absoluta (tCO<sub>2</sub>/año) y relativa (kgCO<sub>2</sub>/tRSU) en el escenario actual**



Finalmente, se presentan los resultados para el escenario actual agregados por Zonas PIR (Tabla 2). Las emisiones del transporte actual de los RSU de la provincia de Castellón ascienden a 2.111 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, requiriéndose 570,6 hectáreas de bosque mediterráneo para absorber tales emisiones.

**Tabla 2. Huella de carbono y huella ecológica en el escenario actual (por Zonas PIR)**

Zona PIR	Municipios	RSU (t/año)	Huella de Carbono		Huella Ecológica	
			kgCO <sub>2</sub> /año	kgCO <sub>2</sub> /tRSU	ha/año	ha/tRSU
I	27	8.687	379.045	43,64	102,4	1,18e-02
I*	22	69.953	n/d	n/d	n/d	n/d
II	21	158.027	665.357	4,21	179,8	1,14e-03
III	41	43.841	985.215	22,47	266,3	6,07e-03
IV	11	2.522	46.947	18,61	12,7	5,03e-03
V	13	1.702	34.798	20,44	9,4	5,52e-03
Total	113	214.779	2.111.362	9,83	570,6	2,66e-03

\* Municipios que realizan vertido incontrolado; no se han contabilizado en el escenario actual.

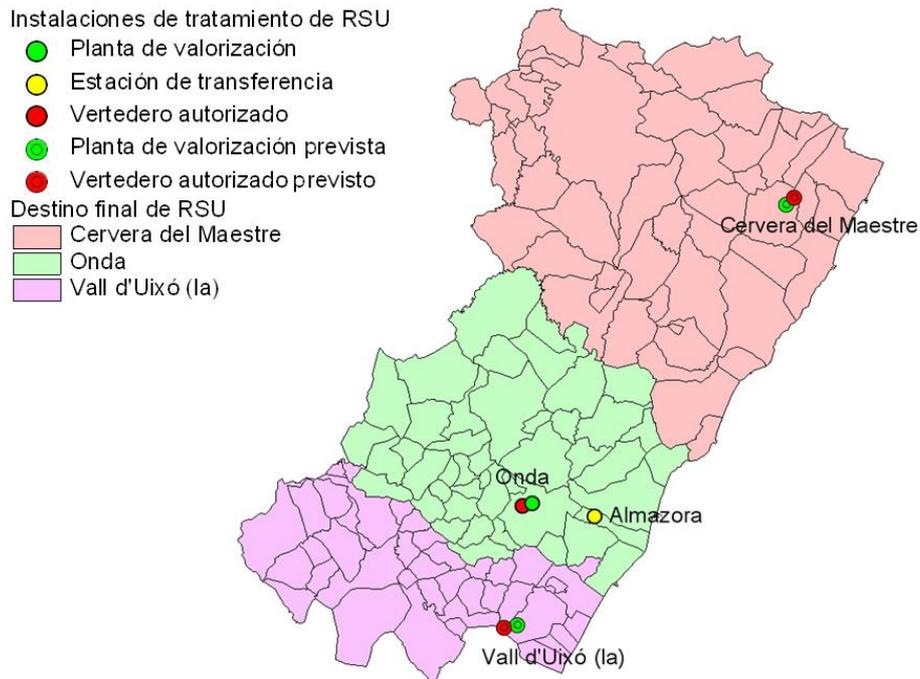
## 4.2. Escenario futuro

La generación de RSU en el escenario futuro se considera idéntica a la del escenario actual (Figura 2), con vistas a comparar ambos escenarios en las mismas condiciones. Por el contrario, el destino de los RSU en el escenario futuro presenta diferencias importantes respecto al escenario actual. Según la planificación prevista en el PIR10 (CMAAUV, 2010), los RSU de la provincia de Castellón tendrán los siguientes destinos:

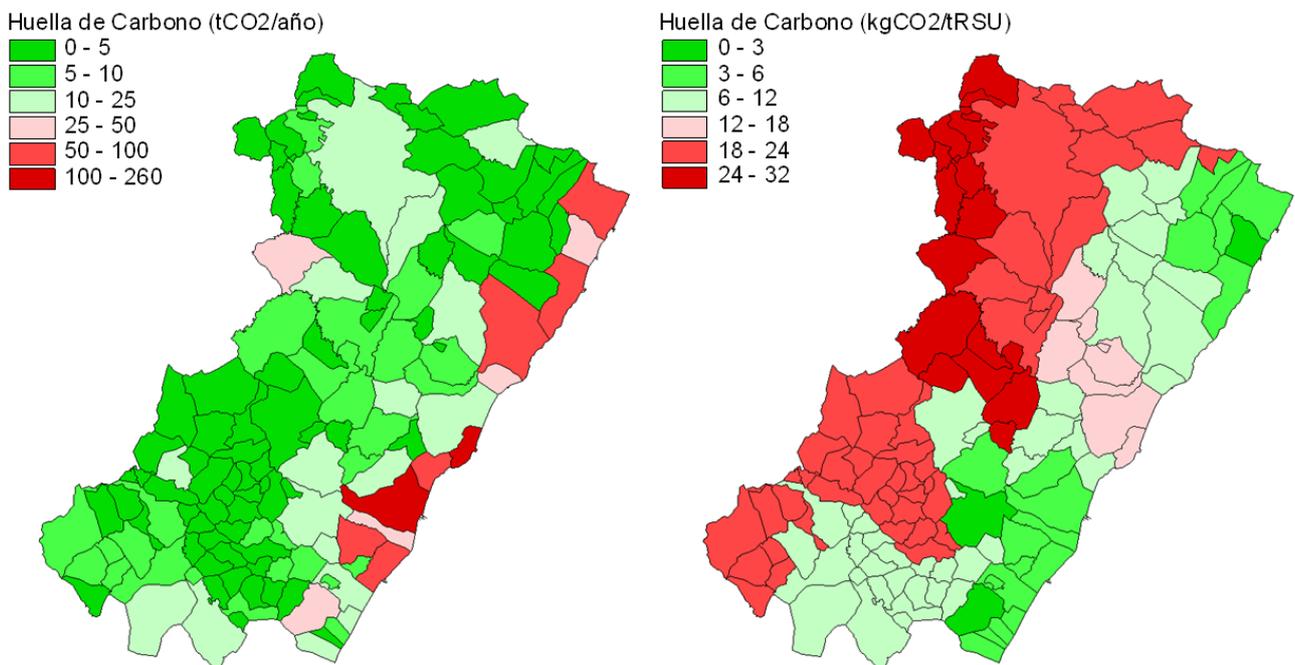
- Todos los municipios de la Zona PIR I (49 municipios) destinarán sus RSU a la planta de valorización prevista en Cervera del Maestre. Esta planta dispondrá de un vertedero autorizado anexo para acoger los rechazos. El PIR10 no contempla la utilización de ninguna estación de transferencia en esta zona.
- Los municipios de las Zonas PIR II, IV y V (en total 45 municipios) destinarán sus RSU a la planta de valorización de Onda, tal y como hacen en la actualidad. La estación de transferencia de Almazora seguirá prestando servicio a los municipios con mayor generación de residuos.
- Los municipios de la Zona PIR III (41 municipios) destinarán sus RSU a la planta de valorización prevista en la Vall d'Uixó. Esta planta también dispondrá de un vertedero autorizado anexo para acoger los rechazos. El PIR10 no contempla la utilización de ninguna estación de transferencia en esta zona, de modo que la estación de transferencia de Segorbe cesará su actividad.

La Figura 5 muestra un mapa del escenario futuro de transporte de RSU en la provincia de Castellón. La implantación de las instalaciones de tratamiento previstas evitará que se sigan realizando transportes interprovinciales de RSU. Además, los municipios que hasta la fecha vienen eliminando sus RSU de forma incontrolada, dispondrán de una instalación de tratamiento autorizada cercana. Por lo tanto, el escenario futuro de instalaciones de tratamiento también es favorable para reducir el vertido incontrolado.

**Figura 5. Escenario futuro de transporte de RSU**



**Figura 6. Huella de carbono absoluta (tCO<sub>2</sub>/año) y relativa (kgCO<sub>2</sub>/tRSU) en el escenario futuro**



La Figura 6 muestra los resultados de huella de carbono en los municipios de la provincia de Castellón en el escenario futuro, tanto en términos absolutos como en términos relativos (respecto a las cantidades de RSU transportadas). Los municipios con mayor generación de RSU (Figura 2) siguen siendo los que mayor impacto ambiental producen en términos absolutos como resultado del transporte de RSU. Sin embargo, los

municipios de las Zonas PIR I y III experimentan una gran reducción de su huella de carbono respecto al escenario actual, tanto en términos absolutos como relativos. Si se comparan nuevamente los municipios de Castellón de la Plana y la Vall d'Uixó, se observa que el impacto relativo de ambos está ahora más equiparado: Castellón de la Plana genera 72.066 toneladas anuales de RSU, que derivan en 257,5 toneladas anuales de CO<sub>2</sub> (3,57 kgCO<sub>2</sub>/tRSU); mientras que la Vall d'Uixó genera 13.550 toneladas anuales de RSU, causando su transporte 39,5 toneladas anuales de CO<sub>2</sub> (2,92 kgCO<sub>2</sub>/tRSU). Por último, analizando las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de RSU transportada, se observa que los municipios de la franja interior de la provincia causan mayor impacto relativo. Estos municipios son los que están más alejados de las instalaciones de tratamiento previstas. Para reducir el impacto ambiental y los costes del transporte de RSU en los municipios del interior debería valorarse la opción de implantar estaciones de transferencia en estas zonas.

Finalmente, se presentan los resultados para el escenario futuro agregados por Zonas PIR (Tabla 3). Las emisiones del transporte de RSU en toda la provincia de Castellón según el escenario futuro se estiman en 1.685 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, requiriéndose 455,4 hectáreas de bosque mediterráneo para absorberlas.

**Tabla 3. Huella de carbono y huella ecológica en el escenario futuro (por Zonas PIR)**

Zona PIR	Municipios	RSU (t/año)	Huella de Carbono		Huella Ecológica	
			kgCO <sub>2</sub> /año	kgCO <sub>2</sub> /tRSU	ha/año	ha/tRSU
I	27	8.687	174.688	20,11	47,2	5,44e-03
I*	22	69.953	486.113	6,95	131,4	1,88e-03
II	21	158.027	665.357	4,21	179,8	1,14e-03
III	41	43.841	276.966	6,32	74,9	1,71e-03
IV	11	2.522	46.947	18,61	12,7	5,03e-03
V	13	1.702	34.798	20,44	9,4	5,52e-03
Total sin I*	113	214.779	1.198.756	5,58	324,0	1,51e-03
Total	135	284.732	1.684.869	5,92	455,4	1,60e-03

\* Municipios que actualmente realizan vertido incontrolado; se han contabilizado por separado para facilitar la comparación de resultados con el escenario actual (donde estos municipios no se han contabilizado).

### 4.3. Comparación de escenarios

Las emisiones del transporte de los RSU generados en la provincia de Castellón en el escenario actual<sup>1</sup> se estiman en 2.111 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, requiriéndose 570,6 hectáreas de bosque mediterráneo para absorberlas. Los principales causantes de estas emisiones son los municipios de las Zonas PIR I, II y III (18,0%, 31,5% y 46,7% de las emisiones provinciales, respectivamente). El impacto ambiental del transporte de RSU en la Zona PIR II se atribuye principalmente a las grandes cantidades de residuos transportadas, ya que la tasa de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de RSU transportada es de sólo 4,21 kgCO<sub>2</sub>/tRSU. En cambio, el impacto ambiental del transporte de RSU en las Zonas PIR I y III se atribuye en gran medida a las elevadas distancias que recorren los residuos hasta Alicante. Como consecuencia de estos transportes interprovinciales, las Zonas PIR I y III presentan unas tasas de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de RSU transportada mucho mayores, que se estiman en 43,64 y 22,47 kgCO<sub>2</sub>/tRSU, respectivamente (Tabla 2). En el escenario futuro se evitarán los transportes interprovinciales mediante la implantación de plantas de valorización y vertederos autorizados de RSU en la propia provincia. De este modo, según las estimaciones realizadas, las tasas de emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de RSU transportada en las Zonas PIR I y III se reducirán en un 54 y 72%, respectivamente. Consecuentemente, las emisiones absolutas de CO<sub>2</sub> en las Zonas PIR I y III se verán reducidas en esas mismas proporciones. Las emisiones derivadas del transporte de los RSU originados en la provincia de Castellón en el escenario futuro se estiman en 1.199 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, requiriéndose un total de 324,0 hectáreas de bosque mediterráneo para absorber tales emisiones (Tabla 3). Por lo tanto, la implantación de las plantas de tratamiento previstas permitirá reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte de RSU en algo más del 43%, evitándose 912 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales y liberándose 246,6 hectáreas de bosque mediterráneo.

<sup>1</sup> En el escenario actual no se contabilizan los municipios que realizan vertido incontrolado. Los resultados y comparaciones presentados en este apartado tampoco contabilizan estos municipios.

## 5. Conclusiones

La mayoría de los vertederos autorizados de RSU de la provincia de Castellón se han cerrado durante los últimos años, mientras que la implantación de las nuevas instalaciones previstas se está demorando. Como consecuencia, más de 50.000 toneladas de RSU anuales se trasladan hasta la provincia de Alicante para recibir tratamiento. Esto ocasiona un sobrecoste del transporte de residuos y tiene unas repercusiones medioambientales y sociales. En este estudio se ha usado la metodología de la huella ecológica para calcular el impacto ambiental del transporte de los RSU generados en la provincia de Castellón, considerando dos escenarios distintos: el escenario actual, con una parte importante de los RSU destinándose a Alicante; y el escenario futuro –una vez operen las instalaciones de tratamiento de RSU previstas–, en el que no será necesario transportar RSU fuera de la provincia. Comparando los resultados de ambos escenarios, se deduce que por cada año de demora en la implantación de las instalaciones previstas se producirá una emisión adicional de 912 toneladas de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, se concluye la necesidad de implantar estas instalaciones cuanto antes, con vistas a reducir el impacto ambiental del transporte de RSU. Además de reducir el impacto ambiental del transporte, las instalaciones de tratamiento previstas evitarán el vertido incontrolado en la provincia, que en la actualidad asciende a cerca de 70.000 toneladas anuales de RSU. Los municipios que a día de hoy eliminan sus RSU en vertederos ilegales dispondrán en el futuro de una instalación de tratamiento autorizada cercana. Una vez entren en funcionamiento las instalaciones de tratamiento previstas, sólo los municipios del interior de la provincia podrían seguir encontrando ciertas dificultades para transportar sus residuos hasta las plantas de tratamiento, que estarán ubicadas sobre la franja litoral. Aunque la generación de RSU en los municipios del interior es reducida, debería valorarse la posibilidad de implantar estaciones de transferencia en estas zonas para reducir el impacto ambiental y los costes del transporte de residuos.

## Referencias

- Burón, J.M., López, J.M., Aparicio, F., Martín, M.A., García, A. (2004), “Estimation of road transport emissions in Spain from 1988 to 1999 using COPERT III program”, *Atmospheric Environment*, 38, p. 715-724.
- CMAAUV (Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda) (2001), *Plan Zonal de residuos de la Zona I*.
- CMAAUV (Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda) (2002), *Plan Zonal de residuos de la Zonas III y VIII*.
- CMAAUV (Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda) (2004), *Plan Zonal de residuos de la Zonas II, IV y V*.
- CMAAUV (Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda) (2010), *Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana 2010*.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001), *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006), *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, IGES, Japón.
- Léonardi, J., Baumgartner, M. (2004), “CO<sub>2</sub> efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential”, *Transportation Research Part D*, 9, p. 451-464.
- MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino) (2008), *Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015*.
- Tello, E. (2002) “Ecología urbana y democracia participativa. Las experiencias de la plataforma ciudadana 'Barcelona Estalvia Energia' y del 'Fòrum Cívic Barcelona Sostenible’”, en O. Vázquez, J. A. Domínguez & A. Gaona (Eds.), *Trabajo social y medio ambiente: empleo, formación y participación*, Universidad de Huelva, Huelva, p. 119-132.
- Vidal, R., Rubio, V., Moliner, E., Muñoz, C., Gasch, C., Soler, S., Ayora, C. (2009) *Mapa de Residuos de la Provincia de Castellón (Informe interno del Grupo de Ingeniería del Diseño GID.2009.06 para la Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Castellón)*, Universidad Jaume I, Castellón.
- Wackernagel, M., Rees, W. (1995) *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, New Society Publishers, Columbia Británica & Filadelfia.