



# Metodología para evaluar la efectividad y el impacto ambiental de la contenerización urbana empleada en la recogida de residuos municipales.

## Aplicación a la ciudad de Madrid

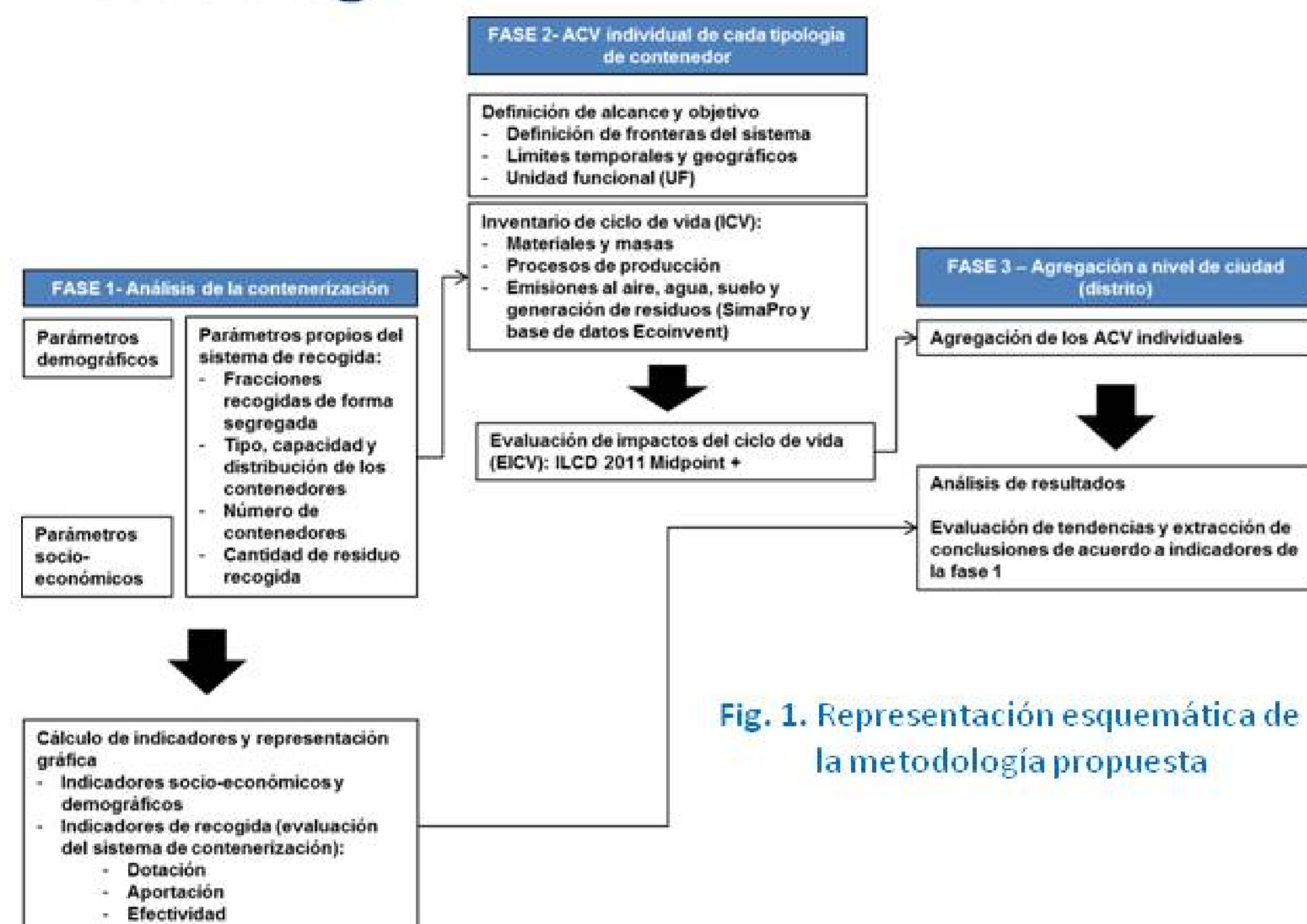
J. Pérez\*, J. Lumbreras, D. de la Paz, E. Rodríguez  
Dto. Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente  
ETS Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid  
\*javier.perez@etsii.upm.es



### Resumen

Este trabajo propone un procedimiento para evaluar los sistemas de contenerización empleados en la etapa de recogida de los residuos municipales (también llamada pre-recogida), incluyendo su impacto ambiental, el cual se evalúa a través de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV). La aplicación y validación de la metodología propuesta se ha realizado en los distritos de la ciudad de Madrid, con datos de 2013.

### Metodología



La Fig. 1 recoge de forma esquemática la metodología propuesta:

**- FASE 1. Análisis de la contenerización.** Recopilación para cada distrito de la ciudad, de los siguientes datos: número de contenedores instalados y su volumen, masa de residuos recogidos por fracción (aportación), población, superficie, nivel de actividad comercial/industrial, poder adquisitivo de la población, etc. Con los datos recopilados se calcula una serie de indicadores para llevar a cabo la comparación inter-distrito y la interpretación de los resultados del ACV. El cálculo de indicadores y su representación mediante distintas herramientas, incluyendo sistemas de información geográfica (SIG), constituyen elementos clave para la interpretación de los resultados y la propuesta de mejoras.

**- FASE 2. ACV individual de cada tipo de contenedor** empleado en la recogida de residuos municipales. Normas ISO 14040/14044.

**- FASE 3. Agregación.** Evaluación del impacto ambiental asociado a los contenedores de cada distrito, para cada fracción de residuo recogida, en base a los resultados obtenidos la fase 2. Posteriormente, análisis y extracción de conclusiones, de acuerdo a los indicadores calculados en la fase 1. Así, la metodología permite determinar el impacto ambiental asociado al conjunto de contenedores de todo un municipio y de cada uno de sus distritos, evaluando las diferencias entre ellos. A su vez, permite establecer la correlación entre el impacto ambiental, la dotación de contenedores (expresada en litro de contenedor por habitante) y la efectividad en la recogida (expresada como masa de residuo recogido por unidad de volumen de contenerización).

### Aplicación a la ciudad de Madrid

La ciudad de Madrid tiene implementado un sistema de recogida de residuos municipales segregado en cuatro fracciones principales: F1 (resto, incluido materia orgánica), F2 (envases ligeros), F3 (papel y cartón) y F4 (vidrio).

**FASE 1.A)** Recopilación de datos demográficos y socio-económicos (Fig. 2, población, superficie, valor añadido bruto -GVA, como indicador de la actividad productiva- y renta disponible -GDI, como indicador del poder adquisitivo de la población-), y datos propios del sistema de recogida (Fig. 3, número de contenedores y su distribución, capacidad total instalada, cantidad de residuos recogidos por fracción).

**FASE 1.B)** Cálculo de indicadores socio-económicos (Fig. 4) y de recogida de residuos municipales (Fig. 5, ejemplo para la fracción F1).

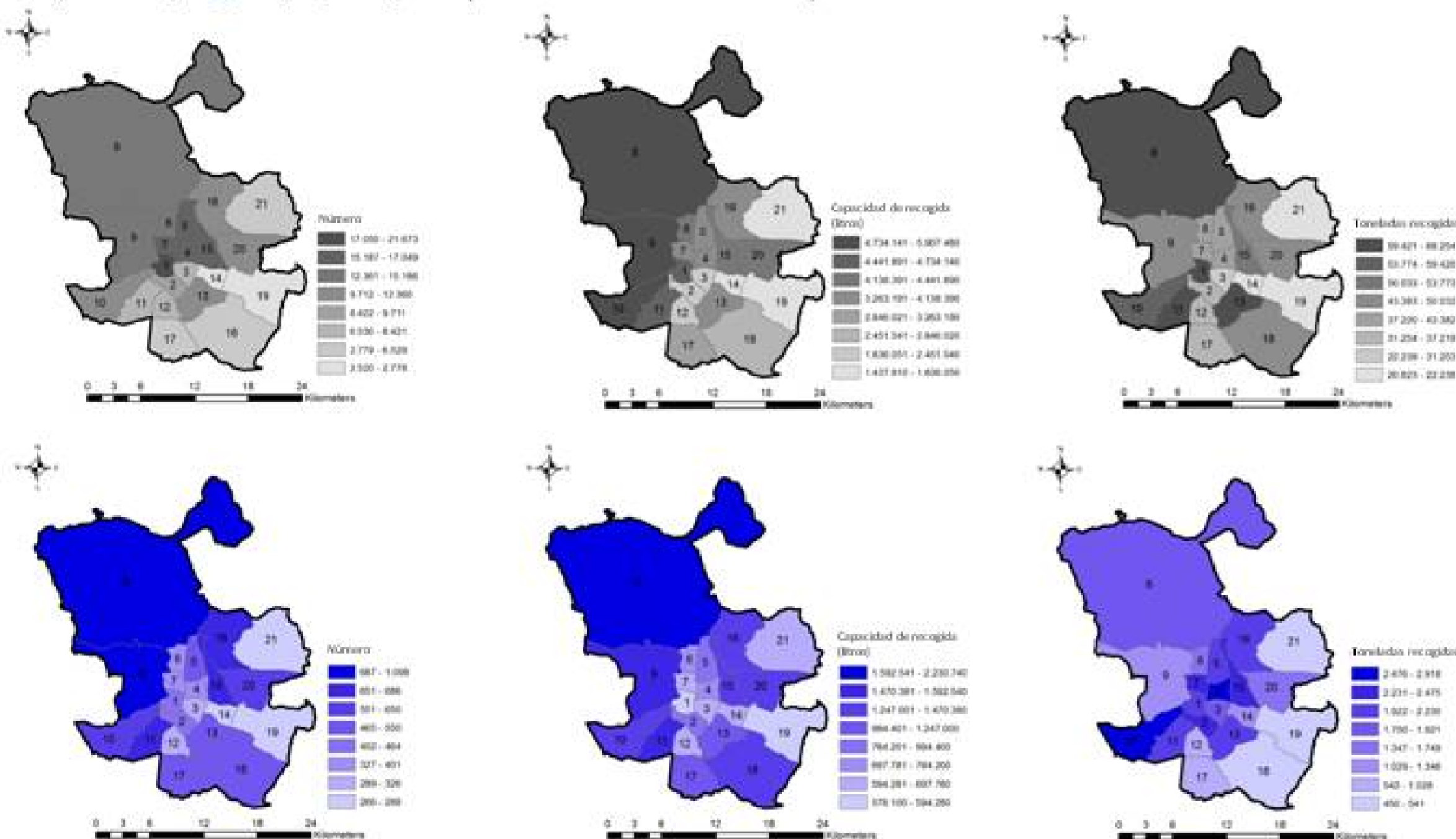


Fig. 3. Parámetros que caracterizan el sistema de contenerización de la ciudad de Madrid (ejemplo para fracciones F1-resto- y F3-papel y cartón-)

**FASE 2 - ACV para cada tipología de contenedor.** **Fronteras del sistema:** extracción de materias primas y su procesado, producción de materiales y fabricación del contenedor. **Metodología de evaluación de impactos:** ILCD 2011 Midpoint+ V1.06; todas sus categorías de impacto ambiental (Tabla 1). **Software:** SimaPro 8.0.5.13. **Datos de inventario:** Ecoinvent 3.1, fabricantes de contenedores y Ayuntamiento de Madrid. **Análisis comparativo de los resultados:** la Fig. 6 recoge una muestra de los resultados obtenidos; comparación entre el impacto ambiental generado por cada tipología y capacidad de contenedor empleado para F1, y el contenedor de carga trasera de 120 litros de capacidad (RL-120).

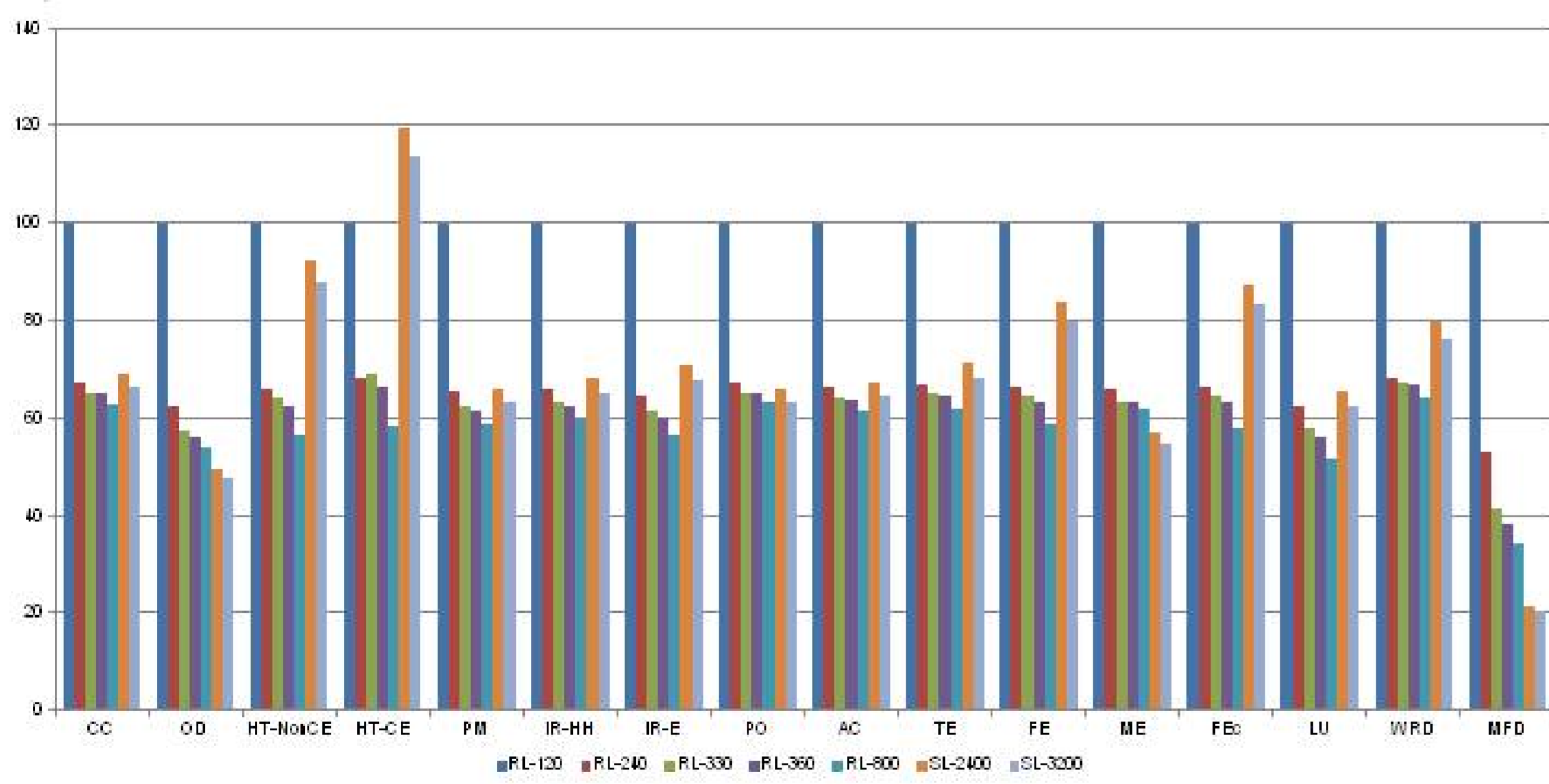


Fig. 6. Impacto ambiental de cada tipo de contenedor empleado en la recogida de la fracción F1, en relación al contenedor de 120 litros de carga trasera (RL-120). RL= rear loading, carga trasera. SL= side loading, cargalateral

**FASE 3 - Agregación ACVs individuales a nivel de distrito y para la ciudad, análisis de los resultados y evaluación.** Las Fig. 7 y 8 presentan como ejemplo de los resultados obtenidos y su interpretación, la evaluación del impacto en CC. La Fig. 7 representa el impacto asociado a la contenerización urbana para el conjunto de las cuatro fracciones en términos absolutos y por unidad de residuo recogido. La Fig. 8 muestra el impacto por residente en cada distrito, así como su desglose por fracción recogida.

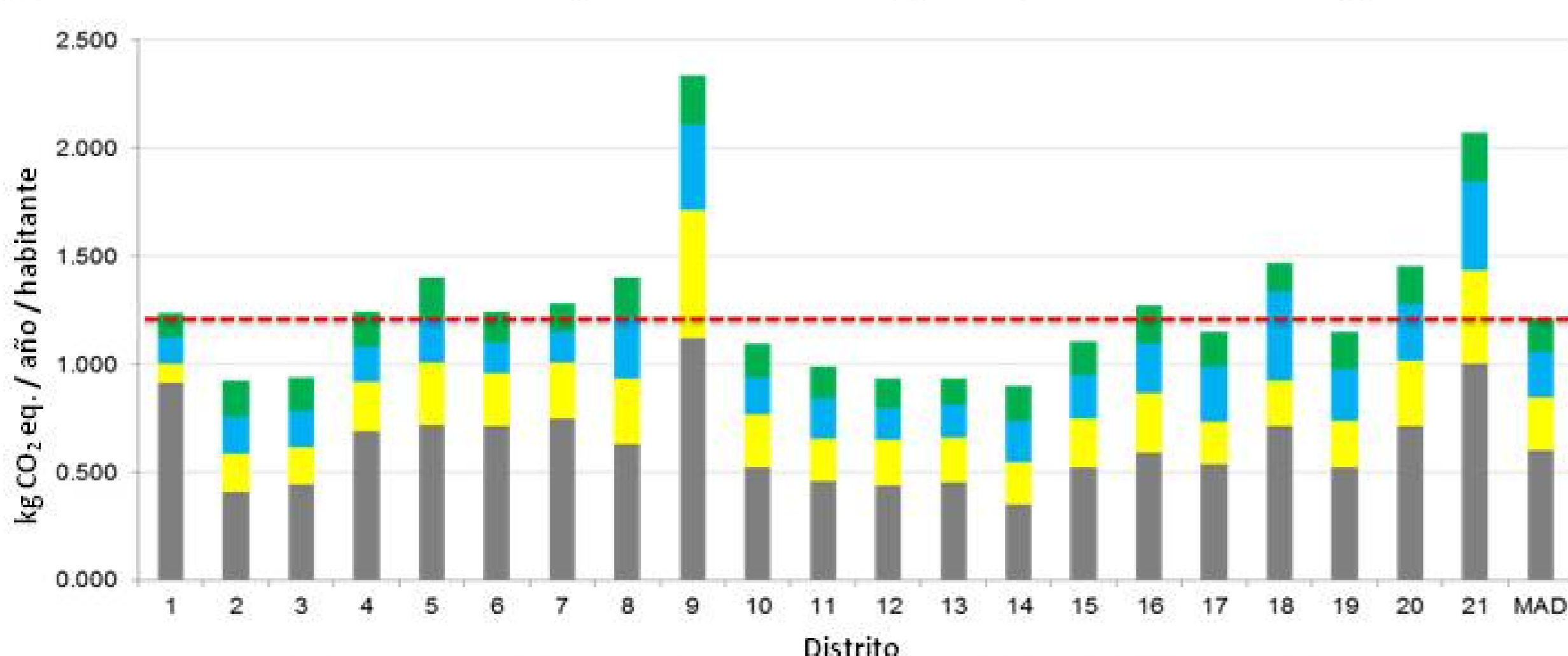


Fig. 8. Impacto en CC por habitante y año asociado a la contenerización

Madrid y sus distritos

Código	Distrito
1	Centro
2	Arganzuela
3	Retiro
4	Salamanca
5	Chamartín
6	Tetuán
7	Chamberí
8	Fuencarral
9	Moncloa
10	Latina
11	Carabanchel
12	Usera
13	Puente Vallecas
14	Moratalaz
15	Ciudad Lineal
16	Hortaleza
17	Villaverde
18	Vallecas Villa
19	Vicálvaro
20	San Blas - Canillejas
21	Barajas
MAD	MADRID

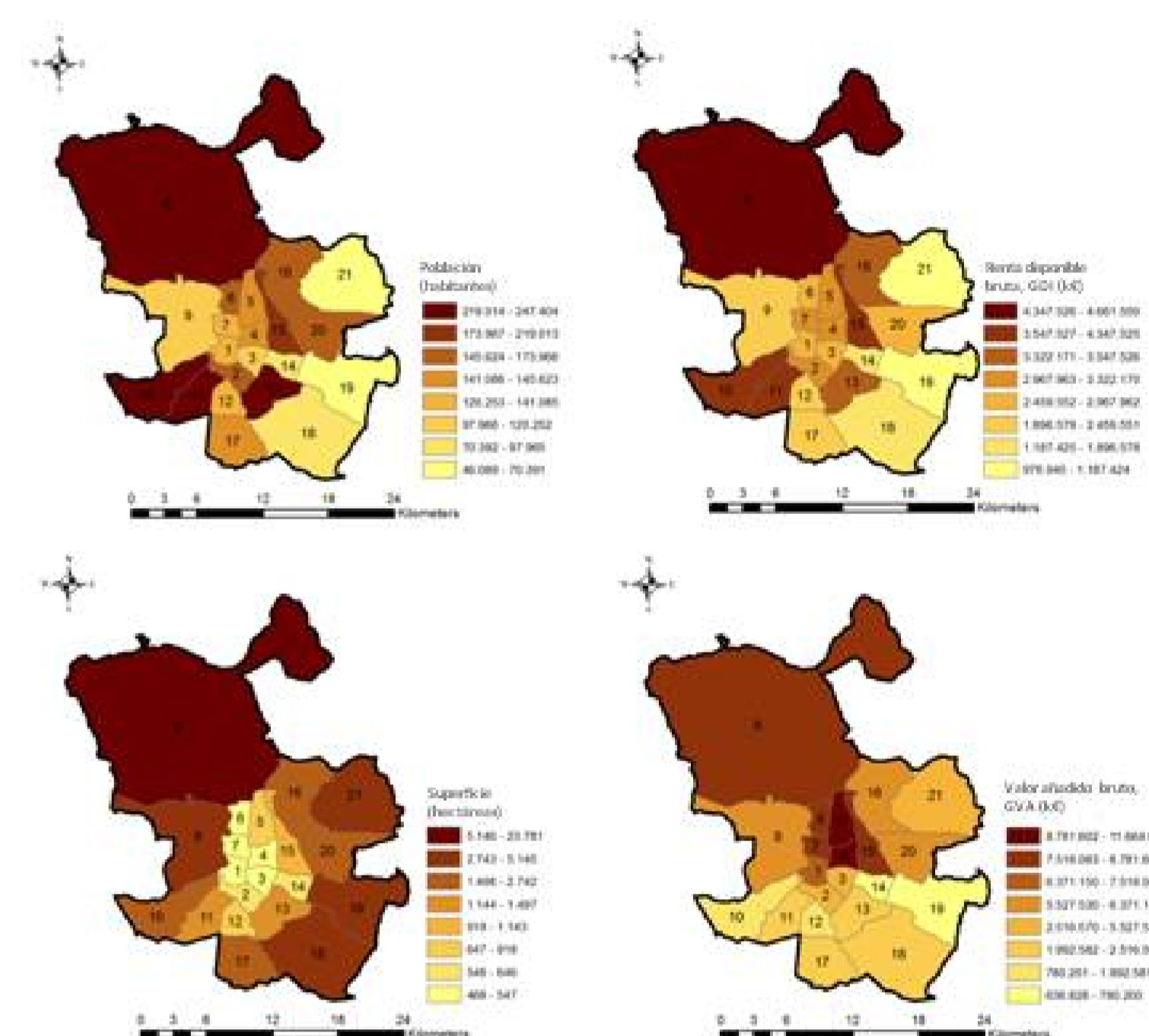


Fig. 2. Parámetros demográficos y socio-económicos considerados

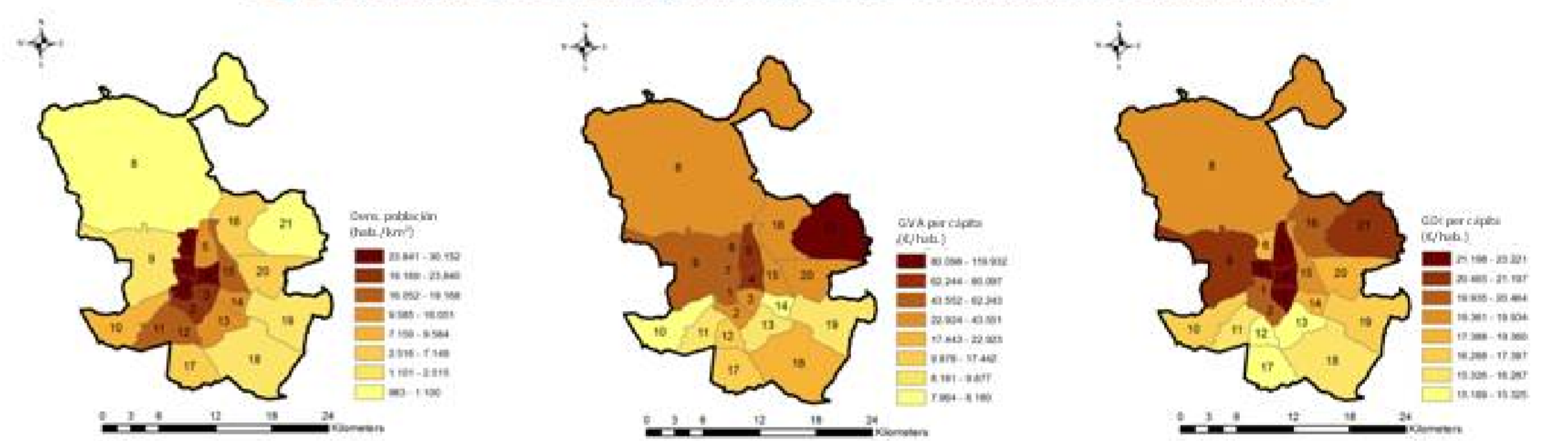


Fig. 4. Indicadores socio-económicos

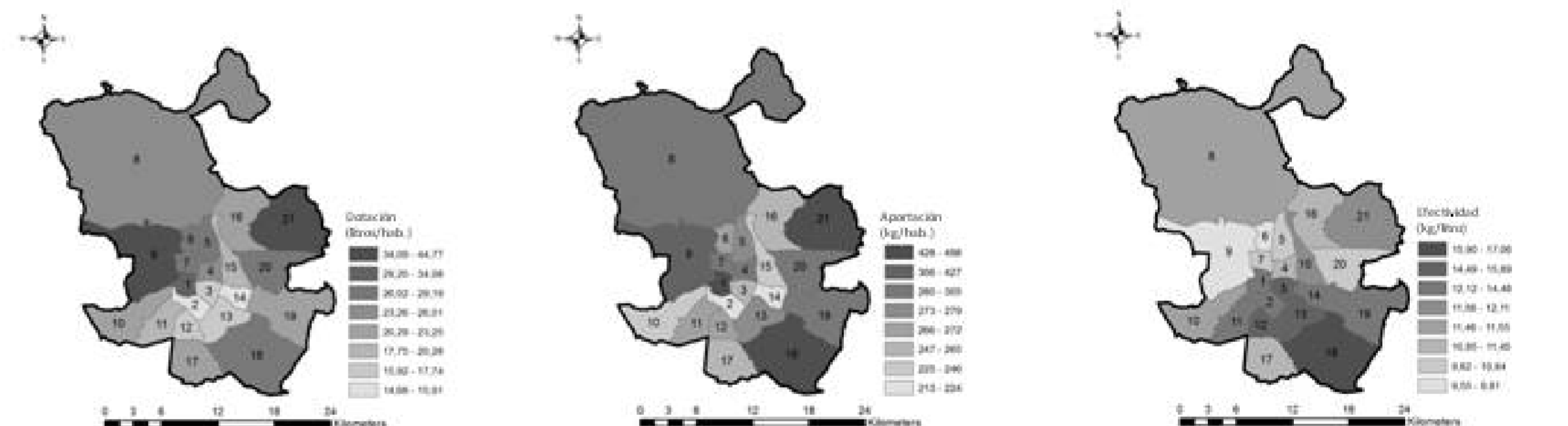


Fig. 5. Indicadores de recogida: dotación (litros/habitante), aportación (kg recogidos/habitante) y efectividad (kg recogidos/litro de contenedor). Fracciones F1 y F3

Tabla 1. Categorías de impacto ambiental, metodología ILCD Midpoint+

Acronimo	Categoría de impacto ambiental	Unidad
CC	Cambio climático	kg CO <sub>2</sub> eq
OD	Destrucción de la capa de ozono estratosférico	kg CFC-11 eq
HT Non CE	Toxicidad humana, efectos no cancerígenos	CTUh
HT CE	Toxicidad humana, efectos cancerígenos	CTUh
PM	Material particulado (efectos respiratorios)	kg PM <sub>2.5</sub> eq
IR-HH	Radiación ionizante (efectos en salud)	kBq U <sub>235</sub> eq
IR-E	Radiación ionizante (efectos en ecosistemas)	CTUe
PO	Formación de ozono troposférico	kg NMVOC eq
AC	Acidificación	molC H+ eq
TE	Eutrofización terrestre	molC N eq
FE	Eutrofización de agua dulce	kg P eq
ME	Eutrofización marina	kg N eq
FEC	Ecotoxicidad - Aguas dulces	CTUe
LU	Uso del suelo	kg C deficit
WRD	Consumo de recursos hídricos	m <sup>3</sup> water eq
MFD	Consumo de recursos minerales, fósiles y renovables	kg Sb eq

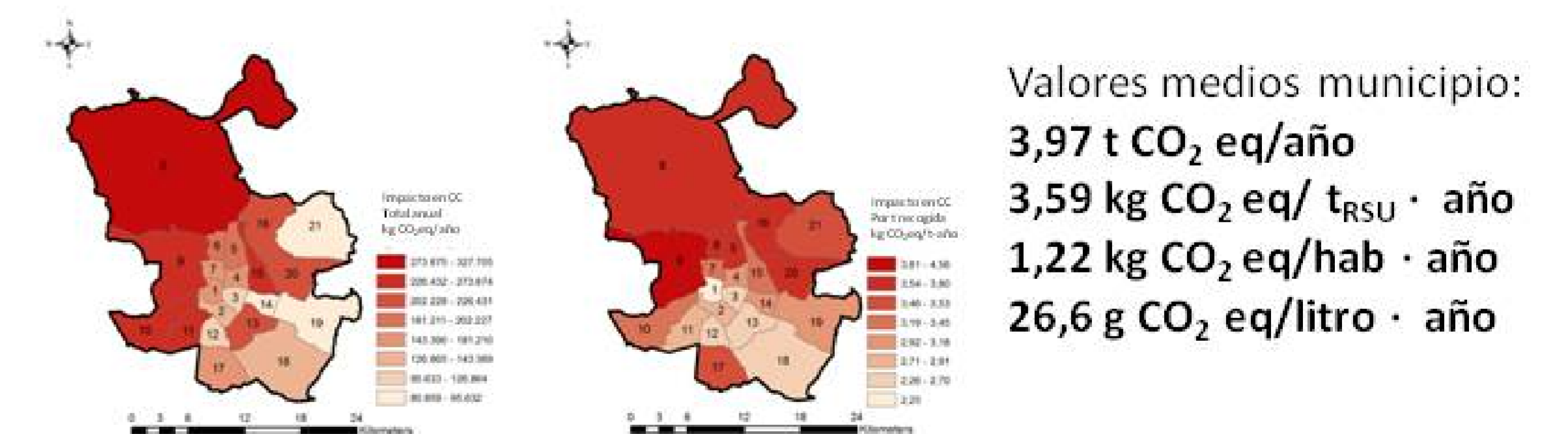


Fig. 7. Impacto en CC asociado a la contenerización: total y por tonelada de residuo recogido

### Conclusiones

La metodología propuesta permite determinar el impacto ambiental asociado a la contenerización urbana, evaluando los factores que lo determinan: dotación, tipología, materiales y ratios volumen disponible / masa de los contenedores empleados.

La evaluación de la dotación, aportación y efectividad en la recogida, así como de los parámetros demográficos y socio-económicos que deben condicionar el diseño de los sistemas de contenerización, permite detectar anomalías en los sistemas existentes y proponer medidas para reducir el impacto ambiental asociado. En ese sentido, se presenta como una herramienta de soporte a los decisores políticos.

La aplicación de la metodología a la ciudad de Madrid ha puesto de manifiesto las diferencias existentes entre los distintos distritos del municipio, y ha permitido poner en práctica la presente metodología.

El cálculo del impacto ambiental por unidad de residuo recogido permite la comparación con las otras etapas de la gestión de los residuos municipales: transporte y tratamientos de gestión.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el ámbito del proyecto "Optimización de la gestión de residuos municipales" (CTQ 2013-48280-C3-2R)

