

## HERRAMIENTA PARA CALCULAR LA HUELLA DE CARBONO DE UNA CADENA LOGÍSTICA CENTRALIZADA

### Instrucciones de uso

El cambio climático es uno de los problemas medioambientales más graves al que se enfrentan las empresas hoy día, y en el contexto de un mundo globalizado, la logística asociada a la distribución de los productos tiene un impacto importante en la huella de carbono de los mismos. La Cátedra Mango de Responsabilidad Social Corporativa de ESCI-UPF presenta esta herramienta para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) causadas a lo largo de una cadena logística de distribución, almacenamiento y venta de productos de tipo centralizado, ilustrada en la Figura 1.<sup>1</sup> Una estructura de distribución centralizada se caracteriza por tener uno o pocos almacenes centrales a los que llegan los productos de diferentes proveedores (orígenes) para, posteriormente, ser preparados para enviar a diferentes destinos (o puntos de venta). A la estructura que apoya el movimiento físico de los productos a lo largo de la cadena de distribución, cabe añadir la estructura de apoyo a esta actividad. Esta estructura de apoyo la realizan los servicios u oficinas centrales de las empresas.

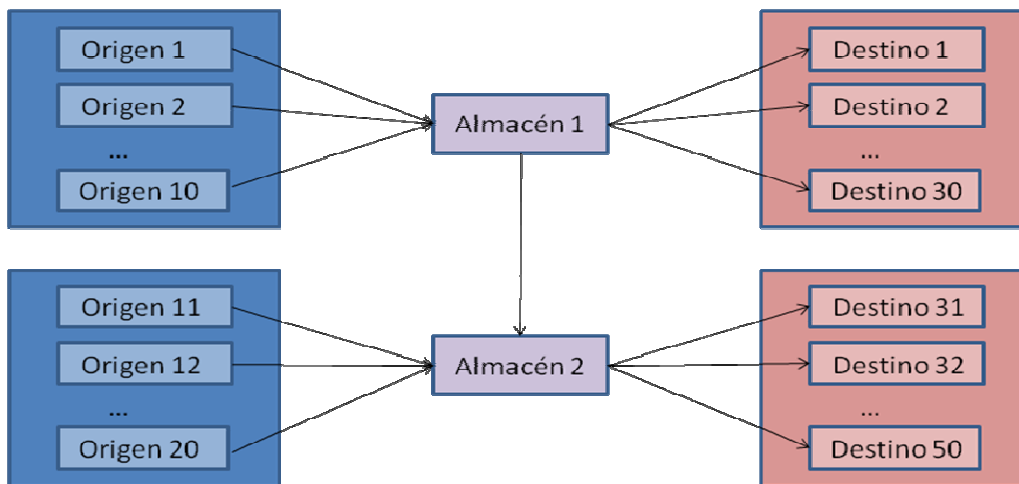


Figura 1: Esquema de una cadena logística centralizada

<sup>1</sup> La herramienta ha sido desarrollada por los investigadores del Grup d'investigació en Gestió Ambiental - GiGa (Marco Rauegi) y del Grup de Recerca en Economia i Empresa Internacional - GRE2i (Rosa Colomé y Mercè Roca).

Siguiendo el enfoque del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se trata de realizar un inventario de los impactos medioambientales (en este caso, las emisiones de GEI) de los productos distribuidos, desde su salida de las fábricas de origen hasta su entrega en los puntos de venta. La herramienta consiste en un archivo Excel con diferentes hojas de cálculo: *“Datos básicos”*, *“RESULTADOS”*, *“Recepción en almacenes”*, *“De almacén 1 a destinos”*, *“De almacén 2 a destinos”*, *“Electricidad almacenes”* y *“Electricidad puntos de venta”*.

La empresa debe recoger la información, e incorporar los datos en las celdas de las varias hojas de cálculo. Se ha utilizado el siguiente código de colores:

- Celdas en amarillo = valores / información general, que se supone que no cambia a menudo. En estas celdas se introduce p.ej. el nombre y la ubicación geográfica de los países donde están los proveedores, almacenes y puntos de venta, las distancias de transporte y los medios de transporte utilizados para cada tramo de transporte.
- Celdas en verde = valores que pueden cambiar cada año, y que hay que actualizar más a menudo. Ejemplos de estos valores son las dimensiones y densidad de las cajas transportadas, el número de cajas enviadas a cada destino, la frecuencia de los envíos por cada “bloque”, y los consumos eléctricos relativos a los puntos de venta, almacenes y oficinas centrales.

A continuación se describen los pasos para calcular la huella de carbono de la cadena logística en cuestión.

### **1) Definición de los parámetros clave**

En primer lugar, la empresa debe definir e introducir los parámetros clave que caracterizan su cadena logística. La herramienta está pensada para calcular las emisiones de GEI referentes al conjunto de actividades de la cadena logística de la empresa (incluyendo el transporte y la operación de las tiendas, oficinas y almacenes) **a lo largo de un año**, por lo que los datos relativos al transporte y al consumo de electricidad deben recogerse para este período temporal. Sin embargo, si los datos relativos al transporte varían a lo largo del año, es posible definir un “bloque” homogéneo de movimientos, cuya duración en semanas debe introducirse en la hoja *“Datos básicos”*.

La unidad de referencia que se utiliza para los movimientos del producto a lo largo de la cadena será la caja (siempre y cuando se pueda identificar una caja “estándar”). Se pueden definir hasta 3 tipos de caja para cada tramo de transporte, y para cada uno de estos tipos se deben definir las dimensiones y densidad volumétrica media para el periodo analizado, en las hojas relativas a los movimientos de las cajas mismas (*“Recepción en almacenes”*, *“De almacén 1 a destinos”*, y *“De almacén 2 a destinos”*), por ejemplo:

	Cajas de tipo A	Cajas de tipo B	Cajas de tipo C
Densidad media (kg/m <sup>3</sup> ) de una caja	100	100	100
Dimensiones de la caja (cm) - LARGO	50	50	40
Dimensiones de la caja (cm) - ANCHO	40	30	30
Dimensiones de la caja (cm) - ALTO	30	20	30
Volumen de la caja (m <sup>3</sup> )	0,060	0,030	0,036
Peso de la caja (kg)	6,0	3,0	3,6

## 2) Recogida e introducción de datos

La red logística de la herramienta corresponde a una estructura centralizada de distribución con dos almacenes centrales que reciben toda la mercancía de los proveedores: almacén 1 y almacén 2. Por lo tanto, la presente estructura permite que haya un doble nivel de almacenaje, posibilitando envíos del almacén 1 al almacén 2.

Se diferencia por una parte el transporte de cajas a los almacenes centrales 1 y 2 y el envío entre los almacenes (*“Recepción en almacenes”*) y por otra, el transporte de los dos almacenes a los puntos de venta (*“De almacén 1 a destinos”* y *“De almacén 2 a destinos”*). Para todos los movimientos de cajas se piden los datos relativos al número de cajas por envío, frecuencia de los envíos por “bloque”, medio de transporte utilizado y distancia del trayecto por rutas comerciales, por ejemplo:

	Cajas de tipo A	Cajas de tipo B	Cajas de tipo C
Número de cajas por envío	100	75	40
Frecuencia de los envíos por bloque	2	6	12
Medio de transporte	CAMION	MARITIMO	MARITIMO/AEREO
Distancia del trayecto por rutas comerciales	1.000	15.000	12.000

Para introducir el **medio de transporte** existe una lista desplegable con las siguientes opciones: CAMIÓN, AÉREO, MARÍTIMO, CAMIÓN/AÉREO, MARÍTIMO/AÉREO. Las dos últimas opciones se aplican a aquellos tramos donde las cajas se transportan mayoritariamente por camión o barco, pero también hay un pequeño porcentaje de cajas que se envían por avión (siendo este último caso necesario, por ejemplo, en aquellos casos en los que el proveedor no ha cumplido con las fechas de entrega, ha habido problemas de calidad o la demanda ha sido superior a lo

previsto). En la hoja **“Datos básicos”** hay que indicar el % de transporte que se hace por avión en estos casos “mixtos”, por ejemplo 5%.

Las **distancias de transporte** se pueden obtener utilizando los enlaces de internet disponibles para el cálculo de rutas por carretera, barco y avión indicados en la hoja **“Datos básicos”** (asumiendo para cada país el transporte hasta la capital o ciudad principal).

Para los movimientos de los dos almacenes centrales a los destinos o puntos de venta se diferencia además entre la información relativa al pedido inicial y a las reposiciones. En la mayoría de sectores, el flujo de producto de origen a tienda sigue dos tempos diferenciados; uno es el que siguen los productos la primera vez que se envían a los puntos de venta (pedido inicial) y que corresponde a un único momento prefijado y a una cantidad fija; mientras que en el segundo de los flujos (las reposiciones), el momento y la cantidad son más flexibles, siendo además las cantidades de menor cuantía pero más frecuentes.

Para calcular el consumo eléctrico asociado con las operaciones se diferencian por una parte las operaciones de los almacenes y las oficinas centrales (**“Electricidad almacenes”**) y, por otra parte, las operaciones de los puntos de venta (**“Electricidad puntos de venta”**). En ambos casos, se pide el consumo eléctrico anual y la ubicación geográfica, ya que en cada región del mundo hay un mix diferente de tecnologías utilizadas para la producción de electricidad.

Ejemplo:

	PAÍS	Consumo kWh TOTAL	Área geográfica *
1	País 1	10.000	OECD Europa
2	País 2	10.000	China

Para introducir el **área geográfica** existe una lista desplegable con las siguientes opciones: España, OECD Europa, OECD América del Norte, OECD Pacífico, África, América Latina, Asia excl. China, China, Anterior USSR, Oriente Medio.

### 3) Cálculo de los resultados

La herramienta calcula las emisiones totales de GEI asociadas a la cadena logística definida a través de un algoritmo de cálculo desarrollado por ESCI, a partir de la información disponible en bases de datos internacionales de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

En concreto:

- Todas las emisiones están expresadas en términos de “kg de CO2-equivalente” (CO2-eq), es decir, incluyen las emisiones de CO2 y de otros gases que también contribuyen al efecto invernadero. Estos últimos se consideran “convertidos” en equivalentes de CO2 en dependencia del potencial de calentamiento global (PCG) relativo (obtenido de la comparación del efecto de las moléculas de cada uno de los gases con el efecto de la molécula de CO2).

- Para cada tramo de transporte, las emisiones están calculadas a partir de la masa transportada (*densidad caja X volumen caja X número cajas por envío X frecuencia de envío por "bloque"*), multiplicada por la distancia de transporte. Los valores así calculados, en términos de *"toneladas X km"* (tkm) se multiplican entonces por el factor de emisión adecuado, en función del medio de transporte utilizado (barco, avión o camión). Estos factores están disponibles para varias categorías de medios de transporte en las bases de datos internacionales. Los valores de emisiones específicos se encuentran en la hoja **"Datos básicos"**. Para aquellos tramos de transporte en los que una fracción de las cajas viaja con un medio de transporte diferente (p.ej. 95% camión/5% avión), se utiliza una media ponderada de los factores de emisión relativos.
- Las emisiones de GEI asociadas a la producción de electricidad varían en dependencia de la tecnología utilizada para su producción. Estos valores específicos de emisiones por kWh de electricidad producida están también disponibles en las bases de datos de ACV. Los valores utilizados por centrales eléctricas de carbón, fuel oil, gas natural, nuclear y hidroeléctrico se encuentran en la hoja **"Datos básicos"**.

Para considerar el mix de tecnologías utilizadas en las diferentes áreas geográficas, la herramienta utiliza por una parte el mix eléctrico español y por otra parte, subdivide el mundo en nueve regiones, relativamente homogéneas bajo el punto de vista de la generación de electricidad. La información sobre los diferentes mix eléctricos de cada una de estas regiones se puede encontrar en la página web de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), y está también reproducida en la misma hoja **"Datos básicos"**. Las emisiones de CO<sub>2</sub>-equivalente asociadas a cada kWh de electricidad producida por el mix de tecnologías propio de cada región se calculan como media ponderada de los factores de emisión de cada tecnología.

La herramienta calcula las emisiones asociadas a los consumos eléctricos de los almacenes, de las oficinas centrales y de los puntos de venta mediante la multiplicación de los respectivos consumos eléctricos totales en cada región geográfica por los mixes eléctricos adecuados.

#### 4) Presentación de los resultados

Finalmente, los resultados en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>-equivalentes) relativos a un año de actividad se encuentran en la hoja **"RESULTADOS"**, en forma de cifras y gráficos.

Estos resultados están desagregados para destacar las contribuciones relativas de las siguientes etapas de la cadena logística:

- i) Transporte desde los productores (orígenes) hasta el almacén 1
- ii) Transporte desde los productores (orígenes) hasta el almacén 2
- iii) Transporte desde el almacén 1 hasta el almacén 2
- iv) Transporte desde el almacén 1 hasta los puntos de venta en el mundo

- v) Transporte desde el almacén 2 hasta los puntos de venta en el mundo
- vi) Operación (electricidad) de los almacenes
- vii) Operación (electricidad) de los puntos de venta
- viii) Operación (electricidad) de las oficinas centrales

Aparte de las cantidades totales de emisiones de GEI, expresadas en kg CO<sub>2</sub>-eq, los resultados correspondientes a las diferentes etapas de transporte también se presentan en función de las toneladas transportadas por kilómetro (tkm) y en función de las emisiones por tkm ocasionadas en cada etapa (kg CO<sub>2</sub>-eq por tkm).

Se recomienda a la empresa calcular sus propios indicadores personalizados, por ejemplo refiriendo las emisiones de GEI anuales a las unidades de producto transportadas/ventas o a la superficie de ventas (m<sup>2</sup>). Esto le permitirá comparar los resultados obtenidos para años sucesivos e, incluso, comparar sus resultados con otras entidades de características parecidas.

### **5) Interpretación de los resultados: posibles vías de reducción de la huella de carbono**

En base a las contribuciones relativas de las diferentes etapas de la cadena logística, se pueden plantear distintas posibilidades de optimización – que pueden ser simuladas con la presente herramienta.

Por ejemplo, si el mayor consumo energético proviene de los puntos de venta, habrá que mejorar su eficiencia energética, invirtiendo en los sistemas de climatización (refrigeración, calefacción y ventilación) y en los sistemas de iluminación. Por otro lado, para reducir las emisiones asociadas al transporte, será aconsejable fomentar el uso de los medios de transporte con menor impacto por tonelada\*km transportada (p.ej. barco) en lugar de los con mayor impacto (p.ej. avión).

Desde el punto de vista de diseño de la cadena logística, también se puede identificar el impacto de una estructura de distribución centralizada con un almacén versus una estructura con dos almacenes. De forma análoga, se puede simular el efecto en la huella de carbono de estructuras de distribución *pull* (desde el origen al punto de venta) a estructuras mixtas *push* y *pull* (*push* del proveedor al almacén central y *pull* del almacén a los puntos de venta).