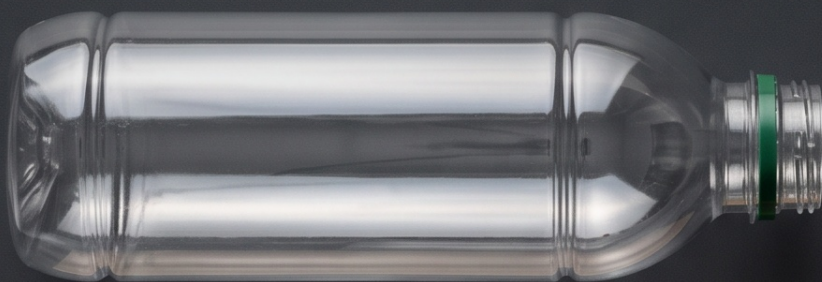


MANUAL TÉCNICO · PRIMERA EDICIÓN

HUELLA DE CARBONO

DE EMPAQUES, ENVASES Y EMBALAJES

Manual de cálculo y reducción para la industria
manufacturera de América Latina y el Caribe



INCLUYE CALCULADORA EN EXCEL

11 hojas · fórmulas vivas · factores de emisión por país



Prof. Ing. Iván H. Rodríguez B.

ENVAPACK.COM

Contenido

- Créditos y advertencia de uso
- El vocabulario, antes de empezar
- La lista maestra de factores
- Cómo usar este libro
- Introducción: el número que ya no puedes no tener

PARTE I · QUÉ ESTÁS MIDIENDO

- 1. Por qué te están pidiendo este número
- 2. Qué es (y qué no es) la huella de carbono de un empaque
- 3. La unidad funcional: el error que arruina toda comparación
- 4. Los límites del sistema
- 5. El despiece: el inventario de masa de tu empaque

PARTE II · EL FACTOR PAÍS

- 6. La red eléctrica de tu país lo cambia todo
- 7. Energía térmica, autogeneración y renovables contratadas
- 8. El agua: cuánta consumes y cuánto carbono cuesta

PARTE III · LOS MATERIALES

- 9. Papel, cartoncillo y cartón corrugado
- 10. Vidrio
- 11. Acero y hojalata
- 12. Aluminio
- 13. Poliolefinas: polietileno y polipropileno
- 14. PET y rPET
- 15. Poliestireno, EPS y PVC
- 16. Barrera e ingeniería: EVOH, nylon 6.6, poliuretano y policarbonato
- 17. Lo que nadie cuenta: tintas, adhesivos, barnices, etiquetas y tapas
- 18. Multicapa y multimaterial: calcular lo que no se puede separar

PARTE IV · LA CADENA

- 19. De la planta de empaque a tu empresa
- 20. Empaque importado: el contenedor desde el otro lado del mundo
- 21. El empaque que transporta al empaque

PARTE V · RECICLADO Y FIN DE VIDA

- 22. Contenido reciclado: por qué dos proveedores te dan números distintos
- 23. Fin de vida en América Latina y el Caribe

PARTE VI · DEL NÚMERO A LA DECISIÓN

- 24. Qué tan bueno es tu número: incertidumbre y calidad del dato
- 25. Reducir de verdad: la jerarquía de mitigación
- 26. Compensar no es reducir
- 27. Comunicar sin greenwashing

ANEXOS DE TRABAJO

- Anexo · Brief de levantamiento de información
- Anexo · Checklist de cierre
- Anexo · El expediente del cálculo
- Anexo · Entidades certificadoras y verificadoras

ANEXOS TÉCNICOS · EDICIÓN 2026

- Anexo A · Marco normativo aplicado
- Anexo B · Factores de emisión por material y ruta
- Anexo C · Factores de emisión de la red eléctrica por país
- Anexo D · Consumo de agua por material
- Anexo E · Transporte: t·km, método por TEU y empaque terciario
- Anexo F · Manual de la calculadora
- Fuentes y bibliografía
- Sobre el autor

La lista maestra de factores

Esta lista abre el libro a propósito. Es el mapa completo de lo que hay que tener en cuenta para calcular la huella de carbono de un empaque en una empresa manufacturera, y está aquí, antes de la introducción, por una razón práctica: para que veas de una vez el tamaño real del trabajo y puedas decidir por dónde entrar.

No intentes llenarla ahora. Recórrela, marca lo que reconoces y sigue leyendo. Cada bloque de esta lista corresponde a una parte del libro, y al terminar el capítulo 5 vas a volver aquí con criterio para completar la primera columna. Los capítulos entre paréntesis te dicen dónde se explica cada cosa.

Si estás auditando un cálculo que ya existe —tuyo o de un proveedor— empieza por el final, en «Los diez olvidos más frecuentes».

Esta lista es la comprobación completa. Sirve para dos cosas: levantar el cálculo desde cero sin dejar huecos, y auditar un cálculo ya hecho —propio o de un proveedor— buscando lo que falta. La columna de la derecha indica si el dato normalmente lo tienes tú (**T**), te lo tiene que dar el proveedor (**P**) o sale de una tabla pública (**Tab**).

Al final hay una sección de **los diez olvidos más frecuentes**, que es por donde conviene empezar si estás auditando.

BLOQUE 0 · Decisiones que se toman antes de calcular

(capítulos 2, 3 y 4)

Si estas cuatro no están escritas, el número que salga no es comparable con nada.

#	Factor	Qué hay que definir	Origen
0.1	Objeto del cálculo	Huella de producto (kg CO ₂ e por unidad de empaque), no de organización	T
0.2	Unidad funcional	Función + cantidad + nivel de protección/vida útil + número de usos	T
0.3	Límite del sistema	Cuna a puerta / cuna a cliente / cuna a tumba. Recomendado: cuna a cliente con fin de vida separado	T

#	Factor	Qué hay que definir	Origen
0.4	Regla de corte y exclusiones	Qué se deja fuera (bienes de capital, mantenimiento, viajes) y el umbral aplicado	T
0.5	Norma de referencia	ISO 14067, GHG Protocol Product, PAS 2050 — y si habrá verificación de tercero	T
0.6	Período de datos	Año o trimestre al que corresponden los consumos y los factores	T
0.7	Gases incluidos	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O y fluorados, convertidos con GWP-100 del IPCC AR6	Tab

LA LISTA MAESTRA: LOS NUEVE BLOQUES QUE TIENE QUE CUBRIR TODO CÁLCULO

1. Alcance y unidad • Unidad funcional declarada • Límites del sistema • Período del cálculo • Método de asignación • Año base	2. Materiales • Despiece completo por masa • Contenido reciclado por componente • Origen del material • Barrera y capas finas • Merma de proceso	3. Energía • Factor de red del país o subregión • Electointensidad kWh/kg • Combustible térmico • Autogeneración en sitio • Contratos renovables
4. Agua • Volumen consumido • Energía de captación y tratamiento • Vertido y su tratamiento • Reportado aparte del carbono	5. Transporte • Fábrica de empaque → tu planta • Modo y carga útil real • Tramo marítimo por TEU • Tramo terrestre del puerto • Retornos en vacío	6. Terciario • Pallet, film, esquineras, flejes • Unidades por pallet • Ocupación real del pallet • Reparto por unidad de venta
7. Fin de vida • Tasa de recuperación real del mercado • Destino por material • Reciclable ≠ reciclado • CH₄ del relleno sanitario	8. Calidad del dato • Nivel de fuente por línea • Incertidumbre declarada • Fecha de cada factor • Qué falta y qué se supuso	9. Cierre • Expediente del cálculo • Quién lo hizo y quién lo revisó • Afirmaciones que se van a comunicar • Plan de actualización anual

 Ninguno de los nueve bloques es opcional, pero no todos pesan igual. En un empaque típico, materiales y energía explican más del 80 % del resultado; agua y terciario rara vez pasan del 5 %. Cubre los nueve para que el cálculo esté completo, y pon el esfuerzo de dato fino en los dos primeros.

Figura 1. Los nueve bloques que tiene que cubrir todo cálculo de huella de empaque.

Qué vas a poder hacer al terminar

Tomar un empaque real —una caja de corrugado, una botella de PET, una lata, un frasco, una película multicapa— y producir cinco cosas:

1. El inventario de masa de todos sus componentes, incluidos los que nunca aparecen en las listas.
2. Su huella de fabricación, ajustada al país donde de verdad se produjo cada parte.
3. El agua que consumió y el carbono que esa agua arrastra.
4. Lo que suma llegar desde la planta del proveedor hasta la tuya.
5. Una ruta de reducción ordenada por impacto y por costo.

Y algo que importa tanto como lo anterior: vas a saber **cuál de tus datos es sólido, cuál es estimado y cuál todavía no deberías comunicar**. La diferencia entre un cálculo profesional y una cifra improvisada no está en los decimales. Está en saber cuáles faltan y decirlo.

Cómo está organizado este volumen

Este manual sigue el recorrido real de un cálculo, no un temario de materiales. Empieza por las decisiones que hay que tomar antes de calcular nada —qué mides, por unidad de qué, hasta dónde— porque el error más caro de este campo no es equivocarse en una multiplicación: es calcular impecablemente algo que no era lo que había que calcular.

Después entra el factor país: la electricidad, el calor y el agua. Es la parte que hace que este manual sirva en Guadalajara, en San José, en Barranquilla o en Santo Domingo, y no en una planta genérica del norte de Europa.

Al final de este volumen encontrarás el índice completo de la obra, con los capítulos por material, transporte, fin de vida, mitigación y comunicación que componen el Volumen II.

Una advertencia y una promesa

La advertencia. Este manual no va a hacer que tu empaque emita menos. Va a hacer que sepas cuánto emite y dónde está concentrado, que es lo único que permite decidir. Si al terminar el cálculo descubres que tu huella está donde no la esperabas —y suele pasar, casi siempre en la caja corrugada o en el país de origen del material— habrá cumplido su función.

La promesa. Todo lo que aquí se afirma se puede sostener con una fuente. Donde el dato es un rango, se publica como rango. Donde falta, se dice que falta. En un tema donde circula tanta afirmación sin respaldo, esa es la única forma de escribir algo que valga la pena firmar.

Empecemos.

PARTE I · QUÉ ESTÁS MIDIENDO

1. Por qué te están pidiendo este número

El correo llega un martes cualquiera y no parece gran cosa. Tu cliente en Alemania —el que representa el 20% de tu facturación y con el que llevas seis años— pide “la huella de carbono del empaque primario y secundario, en kg CO₂e por unidad, antes del cierre del trimestre”. Dos líneas. Ni siquiera lleva copia al gerente.

Llamas a tu proveedor de resina. No lo tiene. Llamas al de corrugado, que te manda un certificado de fibra reciclada y te dice que eso es lo mismo. No es lo mismo. Buscas en la ficha técnica de la película y encuentra espesor, densidad, resistencia al rasgado, ningún gramo de CO₂. En la reunión del jueves alguien propone contestar que el empaque “es reciclable”. Y ahí está el problema, porque esa respuesta ya no sirve.

He visto esa reunión muchas veces y casi siempre pasa lo mismo: se discute qué contestar antes de entender quién pregunta. Y sin eso, cualquier respuesta va a estar mal.

Tres presiones distintas que llegan disfrazadas de una sola

Lo que sientes como “ahora todos piden lo mismo” son en realidad tres cosas con orígenes diferentes, plazos diferentes y consecuencias diferentes. Confundirlas es lo que hace que las empresas respondan de más en un frente y de menos en otro.

La primera es la regulación del país de destino. Si exportas a la Unión Europea, tu empaque ya está dentro del radio de tres instrumentos. El CBAM, el mecanismo de ajuste en frontera, pone precio al carbono incorporado de ciertos productos que entran al bloque — entre ellos el aluminio y el acero, que es exactamente de lo que están hechas muchas latas y tapas. El PPWR, el reglamento de envases y residuos de envases, fija requisitos de reciclabilidad y de contenido reciclado mínimo. Y la CSRD obliga a las empresas europeas a reportar sus emisiones con un nivel de detalle que antes no existía.

Fíjate en la mecánica de esa última, porque es la que más te va a tocar: la CSRD no te obliga a ti. Obliga a tu cliente. Y tu cliente no puede reportar sin preguntarte.

La segunda es la regulación de tu propio país. Chile con la Ley 20.920, Colombia con la resolución de responsabilidad extendida del productor, Perú, Brasil con su política nacional de residuos sólidos, México con su marco de gestión de residuos: toda América Latina se llenó en pocos años de leyes REP que le pasan al productor la responsabilidad por el envase después de que el consumidor lo bota. La REP no te pide huella de carbono —te pide recolectar y valorizar— pero te obliga a saber exactamente cuánto material pones en el mercado, de qué tipo y con qué peso. Y ese inventario de material es, sin que casi nadie lo note, el 70% del trabajo de calcular una huella. Si ya cumples REP, tienes más adelantado de lo que crees.

La tercera no es una ley y es la que llega primero: tu cliente. Las grandes marcas y los retailers globales se pusieron metas de reducción propias. Cuando una empresa de consumo

LOS DOS ALCANCES QUE TE VAN A PEDIR

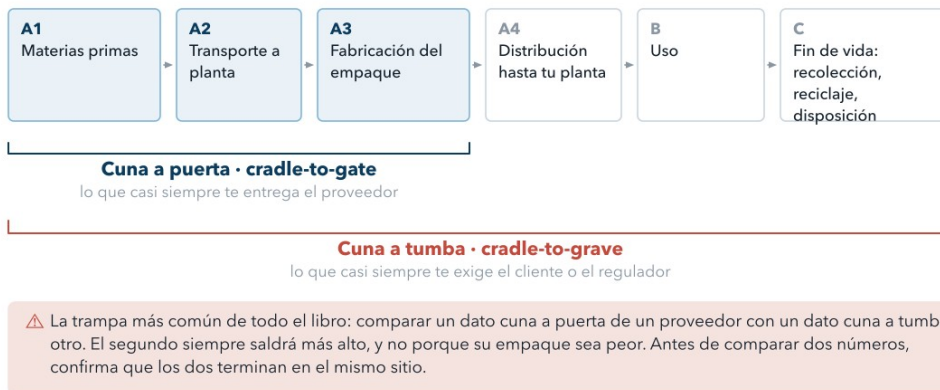


Figura 3. Los dos alcances que te van a pedir, y por qué no se pueden comparar entre sí.

Producto y organización no son lo mismo

Es la confusión que anuncié en el capítulo 1 y aquí toca desarmarla del todo, porque es la que más tiempo hace perder.

La **huella de organización** responde a la pregunta “¿cuánto emite mi empresa?”. Se mide en toneladas de CO₂e al año, cubre todo lo que la empresa hace, y es la que aparece en los reportes de sostenibilidad corporativa. Su norma de referencia es el GHG Protocol Corporate Standard, o la ISO 14064.

La **huella de producto** responde a “¿cuánto emite este empaque?”. Se mide en kg de CO₂e por unidad, cubre una cadena de valor específica y su norma es la ISO 14067 o el GHG Protocol Product Standard.

No se convierten una en otra dividiendo. Si tu planta emitió 4.000 toneladas el año pasado y produjo 40 millones de envases, la división da 0,1 kg por envase — y ese número es falso, o por lo menos inútil. No incluye la resina, que es de lejos la parte más grande de la huella del envase, y sí incluye cosas que no tienen nada que ver con el producto, como los viajes de la fuerza de ventas. Se parece a un dato y no lo es.

⚠ Trampa de contabilidad

Hay una versión más burda de esta confusión que aparece en fichas técnicas reales: sumar kilogramos de material con kilogramos de CO₂e como si fueran la misma columna. Un envase de 24 gramos no “emite 24 gramos”. Emite el resultado de multiplicar esos 24 gramos por un factor. La masa es el insumo del cálculo; el CO₂e es el resultado. Si ves una tabla donde las dos cifras coinciden sospecha de todo lo demás.

Dónde cae tu empaque en la contabilidad de tu cliente

El GHG Protocol divide las emisiones de una empresa en tres alcances. El **Alcance 1** es lo que la empresa quema directamente: las calderas de su planta, sus camiones propios. El **Alcance 2** es la

electricidad que compra. El **Alcance 3** es todo lo demás de su cadena de valor, y se divide en quince categorías.

La categoría 1 del Alcance 3 se llama “bienes y servicios adquiridos”.

Ahí está tu empaque. Ahí, y en ningún otro lado.

Esto tiene una consecuencia práctica que conviene entender bien: **tu Alcance 1 y 2 son el Alcance 3 de tu cliente**. Lo que tú quemas en tu planta y la electricidad que compras se convierten, al facturarle el envase, en una línea del inventario de él. Por eso la pregunta baja por la cadena como baja: cada eslabón le pide al anterior lo que necesita para cerrar su propio número. Y por eso el que tiene el dato listo se vuelve el proveedor cómodo.

Tres cosas que se confunden con huella y no lo son

Reciclable es una propiedad técnica del material: puede, en principio, volver a procesarse. No dice nada sobre lo que costó fabricarlo y no dice nada sobre si realmente se recicla en tu país. El capítulo 23 se ocupa de esa segunda parte, que es incómoda.

Biodegradable o compostable describe cómo se degrada al final. Un material compostable puede tener una huella de fabricación más alta que uno convencional, y si termina en un relleno sanitario en vez de una compostera industrial —que es lo que pasa en casi toda la región— se degrada sin oxígeno y genera metano. Es decir: puede terminar emitiendo más.

Contenido reciclado sí afecta la huella, y normalmente la baja. Pero no es la huella: es una de sus variables. Dos envases con el mismo 50% de rPET pueden tener números distintos según dónde se fabricaron y con qué método se asignó el reciclado. De eso trata el capítulo 22 completo.

Ninguno de los tres responde la pregunta del cliente. Los tres son buenos atributos y ninguno es un número de carbono.

Cómo cambia según tu país

Lo que te van a pedir depende del mercado de destino, y conviene no confundirlo. Un cliente **europeo** pide huella de producto porque la necesita para su propio reporte obligatorio. Un cliente **estadounidense** suele pedirla por compromisos voluntarios de marca y acepta formatos más flexibles. Un cliente **regional** —una cadena de retail de tu propio país— muchas veces pide en realidad cumplimiento de REP y usa la palabra «huella» de forma imprecisa. Antes de calcular nada, aclara cuál de las tres cosas te están pidiendo: el trabajo es muy distinto en cada caso.

El cálculo, por primera vez

Para que veas lo que viene, hagamos el más simple posible. Una botella de PET virgen de 24 gramos, sin mirar todavía el país ni el transporte:

masa = 24 g = 0,024 kg
factor ≈ 2,7 kg CO₂e por kg de PET virgen (valor de referencia, Anexo B)

huella = $0,024 \times 2,7 = 0,065$ kg CO₂e por botella
por mil = 65 kg CO₂e

Eso es todo. La aritmética de este libro no pasa de multiplicar y sumar.

Lo difícil no es la operación: es saber que la masa son 24 gramos y no 22, que el factor corresponde al PET que tú compras y no a otro, que ese factor supone una red eléctrica que quizá no es la de tu proveedor, y que a ese número le faltan la tapa, la etiqueta, la tinta, la caja y el viaje. Los siguientes veinticinco capítulos son eso.

Pregúntale a tu proveedor

Cuando alguien te mande un número de huella, antes de usarlo pregunta tres cosas:

“¿El valor que nos comparten es huella de producto o de organización? ¿Bajo qué norma fue calculado (ISO 14067, GHG Protocol Product, PAS 2050)? ¿Incluye solo CO₂ o el conjunto de gases de efecto invernadero expresados en CO₂ equivalente?”

Si no saben contestar la tercera, el número probablemente sea una estimación interna. Sirve para orientarse, no para reportar.

Qué hacer hoy

1. Revisa el último documento ambiental que te mandó un proveedor y clasifícalo: ¿es huella de producto, de organización, o es un certificado de reciclabilidad disfrazado?
2. Escribe en una línea qué te pidió exactamente tu cliente, con la unidad incluida. Si no dice la unidad, pregúntasela antes de calcular nada.
3. Haz la multiplicación de arriba con tu propio empaque y su material principal. Es un número incompleto y aun así te va a dar el orden de magnitud del que estamos hablando.
4. Deja de responder “es reciclable” cuando te pidan la huella. Son dos preguntas distintas y contestar la otra desgasta la confianza.

En la calculadora: la hoja LÉEME trae la fórmula completa, y la columna “kg CO₂e material” de la hoja CÁLCULO es la versión desarrollada de la multiplicación que acabas de hacer.

Para defenderlo: el Anexo A resume qué exige cada norma y qué gases obliga a incluir.

Ya sabes qué estás midiendo. Falta lo más traicionero: **por unidad de qué**. En el próximo capítulo vas a ver por qué comparar un kilo de vidrio con un kilo de plástico no significa absolutamente nada, y por qué buena parte de las comparaciones que circulan en el sector están mal hechas desde la primera línea.