

Guía metodológica para el cálculo de la *huella ecológica corporativa*¹

Juan Luis Doménech Quesada

Autoridad Portuaria de Gijón

jdomenech@puertogijon.es

www.huellaecologica.com

Resumen

La huella ecológica es un indicador de sostenibilidad de índice único, desarrollado por Rees y Wackernagel en 1996, que mide todos los impactos que produce una población, expresados en hectáreas de ecosistemas o "naturaleza". Utilizada habitualmente para regiones o países, en anteriores trabajos hemos constatado que dicho indicador podía utilizarse también en las empresas y en cualquier tipo de organización.

En este artículo se amplía y se describe con detalle la metodología utilizada y se calcula la huella ecológica de la Autoridad Portuaria de Gijón para el año 2004. Esta equivale a lo que producirían 6.483 hectáreas de ecosistemas en un año o a la emisión de 30.485 toneladas de CO₂/año. La huella ecológica corporativa permite establecer objetivos claros y concretos de sostenibilidad ambiental; permite la integración de indicadores, ciclo de vida y eco-etiquetado, en una única herramienta; y aporta un nuevo método de decisión política para luchar, de forma más justa, contra el cambio climático.

Como conclusión final, se propone un nuevo modelo de desarrollo sostenible y una nueva ética empresarial, basados en la aplicación tanto de la *huella ecológica corporativa*, como de la *huella social* que la complementa, la cual también se menciona en este trabajo. Se propone que la empresa responsable incorpore entre sus estrategias la cooperación al desarrollo, a través de eficaces herramientas, como los *Mecanismos de Desarrollo Limpio* y la *Responsabilidad Social Corporativa*. Se acompaña una Hoja de Cálculo para que cualquier organización pueda calcular su huella ecológica y su huella social.

Palabras clave: Huella ecológica corporativa, huella social, desarrollo sostenible, sostenibilidad, ecoeficiencia, ética empresarial

El concepto de *huella ecológica corporativa*

La huella ecológica es una importante herramienta para establecer tanto el impacto de las actividades humanas sobre el ecosistema, como las medidas correctoras para paliar dichos impactos.

La huella ecológica transforma todos los consumos de materiales y energía a hectáreas de terreno productivo (cultivos, pastos, bosques, mar, suelo construido o absorción de CO₂) dándonos una idea clara y precisa del impacto de nuestras actividades sobre el ecosistema. Bajo nuestro punto de vista, es el indicador "final" porque transforma cualquier tipo de unidad de consumo (toneladas, kilowatios, litros, etc.), así como los desechos producidos, en un único número totalmente significativo.

¹ Terceros Encuentros Internacionales sobre "Desarrollo sostenible y población" *eumed.net*. Universidad de Málaga; julio, 2006

Los autores del método, Mathis Wackernagel y William Rees (1996) consideraron aplicar el mismo a varias escalas: individuos, vivienda familiar, ciudades, regiones, naciones y el mundo en su conjunto, sin que hasta la fecha se haya aplicada a la empresa. Sin embargo, como ya hemos sugerido con anterioridad (Doménech, 2004), aunque el consumo suele referirse al ciudadano como consumidor final, la huella ecológica es perfectamente aplicable a la empresa, y a cualquier tipo de organización (como personas jurídicas), ya que éstas también son consumidoras de bienes y servicios (figura 1).

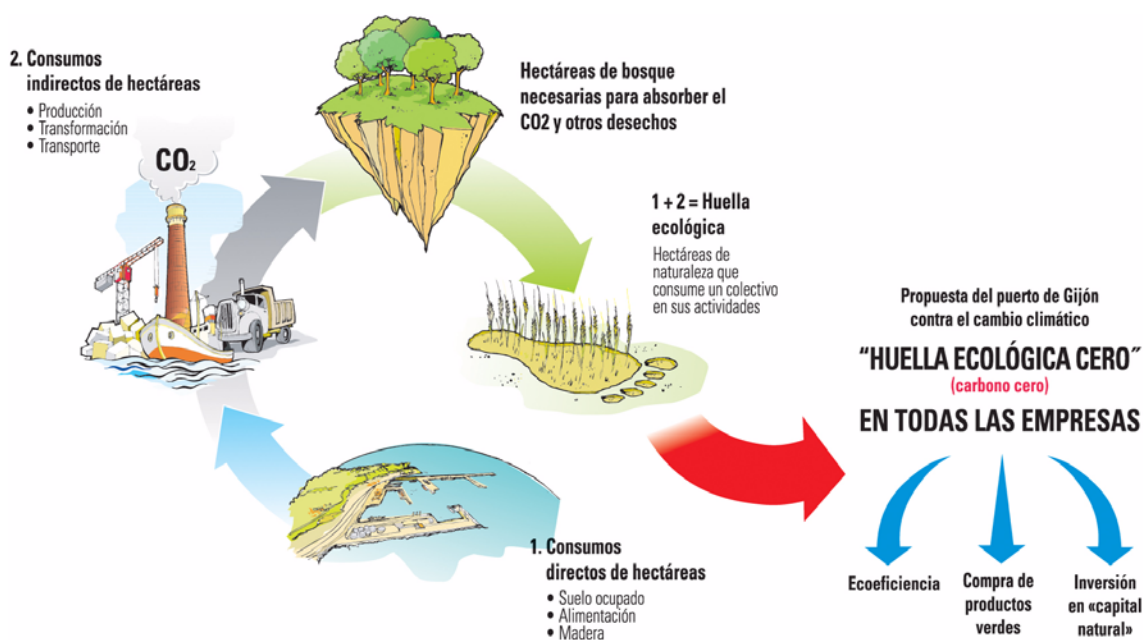


Figura 1. La huella ecológica aplicada a la empresa permite reducir las emisiones de CO₂ y combatir el cambio climático.

Cualquier producto que llega al consumidor final ha atravesado toda una cadena de valor, más o menos larga, desde la extracción de las materias primas (minerales, madera, pescado, etc.) hasta el producto acabado, pasando por el diseño, la transformación, la promoción, la distribución y el transporte o la comercialización. En cada uno de esos pasos o eslabones de la cadena se va añadiendo algo más de huella ecológica hasta llegar a aquel consumidor final.

Así, por ejemplo, una empresa pesquera que explota un recurso, genera los siguientes impactos: a) el espacio que utilizó para la pesca; b) el consumo de combustible del buque; c) el consumo de materiales utilizados (redes, cajas, anzuelos, etc.); d) el consumo de otros recursos (papel, agua, comida, etc.); e) las emisiones, vertidos y desechos producidos. Supongamos que todos estos impactos, una vez convertidos a espacio mediante la metodología que vamos a describir, producen una huella ecológica de unas 10 hectáreas por tonelada de pescado extraído (es decir, cada tonelada de pescado equivale a todos los recursos que producen 10 hectáreas de ecosistemas bioproductivos).

Las operaciones de la lonja, donde se gasta energía eléctrica, se fabrica hielo, se consumen materiales de oficina, etc., añaden nueva huella a esa tonelada de pescado. El transporte hasta la fábrica de conservas y la propia transformación, enlatado, etc., añaden nueva huella a ese pescado. La posterior venta y transporte, a veces hasta lugares sumamente alejados, añade más huella. Finalmente, el

producto es servido en un restaurante, donde también se consume luz, agua, gas, combustible para la calefacción, materiales, espacio y otros, y donde también se generan nuevos residuos. Al final de toda esa cadena, la huella de aquella tonelada de pescado podría pasar de las iniciales 10 hectáreas a las 1000 hectáreas finales (exagerando el ejemplo a efectos descriptivos) que observamos en la figura 2.

El receptor de toda esa huella que se ha ido acumulando es el *consumidor final*, el cliente que está sentado en la mesa del restaurante. Pero, todos los eslabones del proceso han sido *consumidores intermedios* (como poseedores temporales) del producto "de flujo" que ha ido pasando por todos ellos (el pescado), así como consumidores finales de muchísimos otros productos (desde un bolígrafo hasta un anzuelo) que ya no pasan al siguiente eslabón. Podemos considerar que esos productos o consumos finales (como la energía o el combustible) quedan incorporados, como insumos, en el producto de flujo, y considerar así que todo es consumo intermedio, pero lo cierto es que, llamémoslo como lo llamemos, todos y cada uno de los eslabones adquieren huella a partir de los eslabones anteriores y generan nueva huella por medio de sus propios procesos. Unos y otros productos quedan registrados en la contabilidad de la empresa y todos ellos podrán ser registrados como huella.

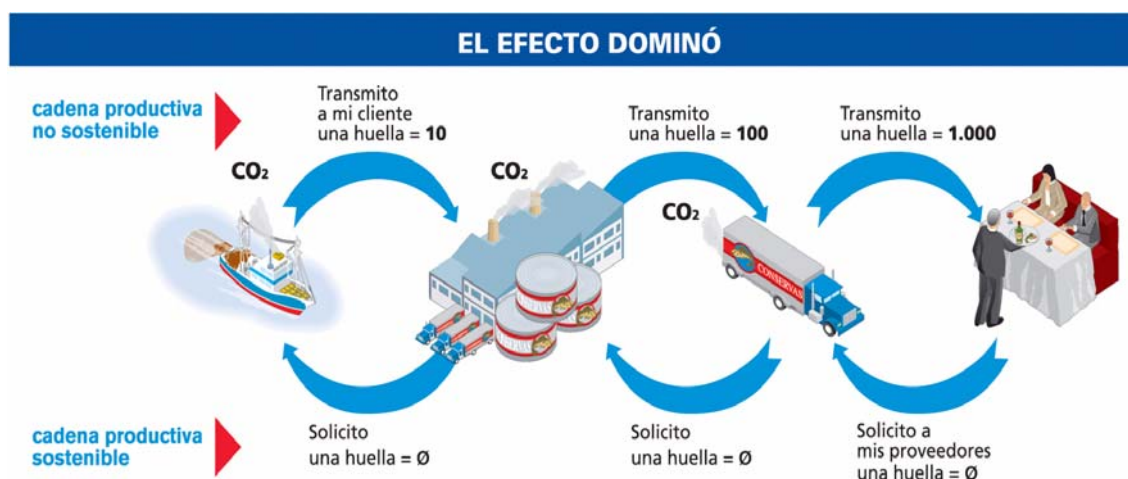


Figura 2. La aplicación de la huella ecológica a la empresa propicia el "efecto dominó", pues a toda empresa le interesará adquirir productos libres de huella, para lo cual deberá buscar los proveedores más ecoeficientes. La huella como ecoetiqueta facilita una fácil y comprensible identificación ambiental de productos y empresas.

La cadena del pescado descrita (como las actuales cadenas del petróleo, del acero, del gas, del vidrio o cualquier otra) es una cadena no sostenible. Sin embargo, si una empresa determinada –cualquier eslabón de la cadena- opta por la sostenibilidad, podrá y deberá adquirir productos sin huella o con poca huella (los denominados productos "verdes" o certificados) y, a su vez, deberá implantar procesos productivos propios que no añadan nueva huella a ese producto adquirido (utilizando, por ejemplo, biocombustibles, comprando energía "verde" o implantando energías alternativas propias). Si esta práctica se extiende por toda la cadena se producirá un "efecto dominó", de modo que todos los proveedores tenderán a hacerse cada vez más sostenibles con el fin de ser cada vez más competitivos.

Por lo tanto, toda empresa, como depositaria o poseedora de la huella de los productos que hereda o adquiere y como generadora de nueva huella, debido a sus propios procesos, puede aplicar con total propiedad el concepto de huella ecológica como indicador de sostenibilidad. Es más, podríamos asumir que toda la huella de una empresa queda incorporada en el producto de flujo que va a pasar al siguiente intermediario, como dijimos más arriba, y que, por lo tanto, todo es consumo intermedio, en el sentido que le dan los economistas (todo son productos "de flujo" hacia el siguiente eslabón); pero, en el sentido que le damos aquí, también podemos asumir lo contrario, es decir, que todo *consumidor intermedio* es en realidad un *consumidor final provisional*, tanto en cuanto no se produzca la transferencia de sus productos al siguiente eslabón de la cadena, ya que es posible que tales productos no salgan de la empresa poseedora. Así, por ejemplo, si se produce un incendio o cualquier otra catástrofe natural o artificial, o si el producto queda almacenado indefinidamente por la razón que sea, o si los productos perecederos se echan a perder por los motivos que fuera, ese consumidor intermedio pasaría automáticamente a ser el consumidor final de tales productos. Creemos, en consecuencia, que el concepto de huella ecológica aplicado a la empresa está totalmente justificado.

Probablemente un concesionario de coches, dedicado a la simple e inocente compra y venta de vehículos (producto "de flujo"), se sorprenda al saber que los automóviles que pasan por su comercio, y que él no va a usar directamente, le producen una considerable huella. Pero, lo cierto es que, desde el momento en que es depositario del vehículo es poseedor también de la huella asociada al mismo, y, si en ese preciso momento, el vehículo se destruye por cualquier motivo (incendio, derrumbe o cualquier otra catástrofe), el depositario ¡es el consumidor final del mismo!. La posesión de un vehículo con huella ecológica no es, por tanto, tan inocente, ya que el poseedor es el único responsable de comerciar con tales vehículos y no con otros sin huella o con menos huella, existentes en el mercado. También sería responsable de añadir a sus vehículos nueva huella con su propio consumo eléctrico, con el consumo de materiales de oficina o de mobiliario, con la calefacción de sus locales, o con el combustible utilizado en las pruebas de vehículos. En cualquier caso, la hoja de cálculo desarrollada permite diferenciar claramente la huella provocada por los productos que designemos como "de flujo" (los vehículos en este caso) y los consumos que consideremos "finales" o "añadidos" (el resto de consumos).

Obviamente, si se deseara calcular la huella total de toda la cadena de valor, esta no sería igual a la suma de todas las empresas que la componen, ya que se incurriría en doble contabilidad, sino que sería igual a la huella acumulada en el último eslabón de la cadena. En el ejemplo mostrado más arriba, la huella total no sería $10+100+1000$ hectáreas, sino la del receptor final, esto es 1000 hectáreas.

Así pues, sabiendo que el poseedor de un producto es el poseedor provisional de su huella total acumulada, definimos *huella ecológica corporativa*, como el impacto ambiental (en hectáreas) de cualquier organización, provocado por: a) la compra de todo tipo de productos y servicios *claramente reflejados en sus cuentas contables*; b) la venta de productos procedentes de la producción primaria de alimentos y otros recursos forestales o bióticos, es decir, cuando hortalizas, frutas o carnes, entran por primera vez en la cadena de mercado; c) la ocupación de espacio; y d) la generación de desechos claramente reflejados en su memoria ambiental. Todos los impactos considerados en la huella ecológica corporativa son perfectamente controlables y auditables, y, por lo tanto, objetivos y transparentes.

Es importante destacar que prácticamente todos los datos de cálculo de la huella ecológica corporativa se pueden obtener de la contabilidad de la organización², motivo por el cual se puede aplicar a cualquier organismo y a cualquier escala; elimina cualquier tipo de arbitrariedad; y facilita la comparación. La huella ecológica corporativa es un rastreador de la huella ecológica habitual (basada en el ciudadano, como consumidor final), pues analiza el impacto de cualquier producto, a lo largo de todo su ciclo de vida.

Los trabajos de huella ecológica corporativa comenzaron en el año 2001 (Alba *et al.*, 2003; Doménech, 2004a, 2004b) y hemos creído conveniente ampliar los mismos con nuevas mejoras, las cuales, indudablemente, deberán seguir siendo enriquecidas con nuevas aportaciones. Se reflejan, además, las diferentes técnicas empleadas en diferentes cálculos de otros autores con el fin de ofrecer un método estándar y útil para cualquier tipo de organización.

Estructura de la hoja de cálculo

Todo el método de cálculo descrito en el artículo se incluye en una simple hoja de cálculo, basada en la mayor parte de las hojas de cálculo existentes, especialmente las de Wackernagel (1998a, 1998b, 2000). Algunos datos de intensidad energética se extraen de Nerea (2003) y de otros trabajos como la huella ecológica de Barcelona (Relea *et al.*, 1998; Terradas, 1998) o la huella de Berlín (Jens Pacholsky, 2003). Especial interés cobra la *huella familiar* de Wackernagel *et al.* (2000) de donde son tomados muchos de los índices de conversión utilizados en la *huella ecológica corporativa*. La hoja de cálculo elaborada podrá descargarse del sitio <http://www.huellaecologica.com>.

Las columnas se dividen en 5 grupos, correspondiendo el primero a la descripción de las diferentes categorías de recursos consumibles. Estos, se han intentado agrupar por su similitud, en la medida de lo posible, resultando cuatro grandes bloques: consumo energético (distribuido, a su vez, en seis subgrupos), uso del suelo, recursos agropecuarios y recursos forestales.

El segundo grupo de columnas muestra los consumos anuales de la organización expresados en unidades específicas, como Kwh, m³ o litros (segunda columna), en euros (tercera columna), en toneladas (cuarta columna) y en gigajulios (sexta columna). Para conocer este último dato, es preciso conocer la *intensidad energética* de los materiales, la cual se indica en la quinta columna.

El tercer grupo muestra la productividad, con dos columnas, la productividad natural en toneladas por hectárea y la productividad energética, en gigajulios por hectárea.

El cuarto grupo consta de 6 columnas que muestran la huella ecológica por tipo de suelo: superficie necesaria para absorber las emisiones de CO₂ provocadas por el consumo de "energía fósil", "tierra cultivable", "pastos", "bosques", "terreno construido" y "mar". Estas superficies en hectáreas se multiplican por un *factor de equivalencia*, con el fin de unificar los diferentes tipos de ecosistema, tal y como se describe más adelante.

El quinto y último grupo muestra la huella ecológica total o terreno "consumido" y la *contra-huella* o terreno disponible, concepto que se describirá más abajo.

² Existen escasas excepciones, como por ejemplo, en el caso de que una organización consuma directamente los alimentos o recursos que produce en sus propios terrenos productivos

Los datos de consumo (segundo grupo de columnas) dividido por la productividad del suelo (tercer grupo) nos da la huella ecológica de cada tipo de suelo (cuarto grupo). Ese es, a grandes rasgos, el método general de cálculo de la huella ecológica.

La empresa o entidad que desee calcular su huella ecológica, tan solo tendrá que introducir sus consumos anuales en las columnas correspondientes de la hoja Excel (las señaladas en color rojo), y todos los demás datos se calcularán automáticamente.

El método y la hoja de cálculo se han construido de forma que pueda servir para la mayor parte de tipos de empresas o entidades, si bien habrá que hacer ligeras adaptaciones para algunos sectores muy específicos. A continuación se muestra la explicación de todos los cálculos efectuados.

Consumos e intensidad energética

Hemos dicho que la base fundamental para el cálculo de la huella ecológica es la división del consumo por la productividad, lo cual se obtiene de forma prácticamente directa en el caso de los recursos bióticos, como la madera, alimentos, etc. Para calcular la huella ecológica de los recursos, correspondiente a "energía fósil", debemos conocer el consumo de los mismos en gigajulios, para lo cual se debe multiplicar el consumo del producto en toneladas por la intensidad energética del mismo, medida en gigajulios/tonelada.

Para obtener el consumo de los materiales en toneladas es preciso utilizar índices de conversión, ya que, en los momentos actuales, la mayor parte de las empresas aun no han desarrollado una adecuada *contabilidad de los materiales* que permita conocer el consumo exacto en toneladas. Creemos interesante que las empresas comiencen a favorecer a los proveedores que ofrezcan los datos de suministro tanto en euros como en toneladas, lo que sin duda se irá consiguiendo de forma gradual.

Obtenido el consumo en la unidad correspondiente y conocida la productividad, se calcula la huella, propiamente dicha, de cada tipo de ecosistema: la huella del consumo de patatas se asignará a "terrenos cultivables"; la huella del consumo de pescado se asignará a "mar"; la huella del consumo de madera se asigna a "bosque"; la huella del consumo de carne se asigna a "pastos", la huella de la ocupación de espacio construido se asigna a "terreno construido" y la huella del consumo de materiales o energía se asigna a "energía fósil". Este último presupone que la producción de materiales o energía produce emisiones de CO₂ las cuales precisa de superficies forestales para su absorción.

Productividad natural

Si, por ejemplo, una determinada comunidad de individuos consume al año 12.000 kilogramos de patatas, y la productividad media de las patatas es de 12.000 kilogramos por hectárea, esa comunidad estará consumiendo el equivalente a 1 hectárea de terreno de cultivos. Esa es su huella ecológica correspondiente a ese tipo de superficie (tierra cultivable). Si consumiera 24.000 kg por año, su huella sería de 2 hectáreas/año, y si consumiera 6.000 kg, ésta sería de 0,5 hectáreas/año.

Ese mismo procedimiento (división del consumo entre la productividad) se puede aplicar para todo tipo de consumos de recursos: electricidad, combustibles, materiales, agua, papel, etc.

Productividad energética

El apartado anterior se refiere a la productividad de los alimentos y productos orgánicos que nos ofrece la tierra, pero ¿cómo aplicar dicho principio al consumo de materiales, tales como maquinaria, productos químicos, material eléctrico, material de oficina, productos de plástico, vehículos o cemento para la construcción?. En este caso, se deben transformar todos esos elementos a energía (la utilizada en su producción o fabricación) y dividirlos entre la productividad energética de la tierra, es decir, la cantidad de energía que puede producir o asimilar una hectárea de terreno.

La unidad empleada es el julio (J), medida física del trabajo que equivale al trabajo que hay que realizar para levantar un kilogramo, a diez centímetros del suelo. Mide también la energía calorífica; una kilocaloría equivale a 4,1868 kilojoules. Un kWh equivale a 3,6 megajulios. Un gigajulio son 1000 megajulios; un megajulio son 1000 kilojulios; y un kilojulio son 1000 julios.

La metodología utilizada por Rees y Wackernagel para calcular el ratio de energía por hectárea varía según que la fuente de combustible sea carbón, petróleo, madera, gas, etc. Inicialmente, estos autores estimaron un factor de absorción de 1,8 toneladas de carbono por hectárea y año, y un tiempo de maduración forestal de 50 a 80 años. Luego, utilizando mejores estimaciones del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para la productividad forestal, la absorción de carbono y los factores de emisión de carbono, y asumiendo un tiempo de maduración forestal (ciclo de cosecha) de 40 años, se fijó la media de absorción de carbono en 1,42 tC/ha/año ó 5,21 tCO₂/ha/año. Parece una estimación prudente y adecuada, teniendo en cuenta que algunos estudios realizados por la Universidad de Vigo, con eucaliptos, arrojan una tasa de absorción de hasta 25 tCO₂/ha/año (Oliveros, *et al.*, 2004).

Los combustibles líquidos tienen un factor de emisión de carbono de 20 tC/Tj, por lo que el ratio energía/hectáreas es de 71 GJ/ha/año (1,42/0,020= 71). Es decir, una hectárea de bosque puede secuestrar anualmente las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de 71 gigajoules de combustible líquido.

Otros cálculos ofrecidos por los autores en sus diferentes publicaciones fueron los siguientes:

- 1) 1 ha de bosque produce 1,99 m³ de madera (en rollo). Asumiendo que el tronco contiene solo una tercera parte de todo el carbono almacenado ($1,99 * 3 = 5,97$ m³/ha).
- 2) densidad de la madera: 0,6 t/m³ ($5,97 * 0,6 = 3,58$ t/ha biomasa seca).
- 3) 1 t de biomasa seca equivale a 0,45 t de carbono ($3,58 * 0,45 = 1,6$ tC/ha/año) (nótese que, en este caso, se asume una absorción anual de 1,6 toneladas de carbono por año).
- 4) 1 t de biomasa seca (ó 0,45 tC) contiene 20 GJ de calor ($1,6 * 20/0,45 = 71,1$ GJ/ha/año).

Como ya hemos dicho, otras estimaciones de los autores dieron resultados diferentes, de 100 GJ/ha/año (con la mencionada tasa de absorción de 1,8 tC/ha/año), o de 60 GJ/ha/año (absorción de 1,05 tC/ha/año).

Aunque los mismos Rees y Wackernagel recomiendan utilizar, cuando sea posible, las productividades locales o regionales, en vez de la media global (tal y como hacen algunos autores), nosotros recomendamos utilizar la productividad global, ya que, en el creciente mundo globalizado en el que vivimos, los artículos consumidos por las empresas o corporaciones tienen muy diversas procedencias lo que haría muy dificultoso trabajar con las productividades locales de cada una de ellas. De

hecho, a pesar de su recomendación, los autores del método optan por utilizar las productividades medias mundiales en la gran mayoría de sus cálculos.

Sin embargo, como decimos, algunos autores han optado por utilizar datos locales. Así por ejemplo, en la huella ecológica de Berlín, el autor, Jens Pacholsky (2003), utiliza un ratio de absorción de 7,2 tCO₂/ha/año (correspondiente a la ecozona de Berlín), en lugar de 5,26 tCO₂/ha/año, inicialmente utilizado por Rees y Wackernagel. De ese modo obtiene una huella ecológica de 4,06 ha/cap, en vez de las 9 ha/cap que se obtendrían con la segunda tasa de absorción. Los datos parecen más precisos, ya que también averiguó que el 97% de los productos consumidos en Berlín provienen de Europa, y demuestran que las diferencias entre aplicar la productividad local o global pueden ser muy importantes. Insistimos, sin embargo, en recomendar la utilización de los datos globales ofrecidos por los autores del método, sobre todo en la huella corporativa, ya que en caso contrario, además de la dificultad señalada más arriba, se distorsionaría las posibles comparaciones entre diferentes cálculos.

Otra aproximación utilizada originalmente por los autores del método para estimar la productividad energética de la tierra se basó en la estimación de la tierra necesaria para producir un sustituto del combustible fósil. Así por ejemplo, estimando la tierra necesaria para la producción de etanol (materia prima o biomasa y energía para el proceso), se ha sugerido una productividad neta de unos 80 GJ/ha/año. En cuanto al metanol, por ahora se han sugerido productividades de 120 a 150 GJ/ha/año (Nueva Zelanda), 17 a 30 GJ/ha/año (Canadá, Rusia, Escandinavia) ó 55 a 70 GJ/ha/año (USA).

Así pues, queda establecido el ratio de 71 GJ/ha/año como productividad energética media mundial. Cuando en vez del combustible fósil, se computa la electricidad obtenida a través de los primeros, hay que tener en cuenta que su eficiencia es del 30%, por lo que la huella asociada es una tres veces mayor que cuando se usa el combustible fósil directamente.

Cuando utilizamos el carbón como combustible, la productividad es de 55 GJ/ha/año, ya que el carbón tiene un factor de emisión de carbono de 26 tC/Tj ($1,42/0,026 = 54,6$) y la del gas es de 93 GJ/ha/año, ya que su factor de emisión es de 15,3 tC/Tj ($1,42/0,0153 = 92,8$).

Las productividades de la energías renovables son mucho más altas. La de la hidroelectricidad, por ejemplo, se calcula estimando la superficie ocupada por los embalses y las líneas de alto voltaje necesarias para la producción anual de electricidad, estimándose en una media de 1000 GJ/ha/año. Para las presas ubicadas en altas altitudes sería de unas 15.000 GJ/ha/año, mientras que para las de bajas altitudes sería de 160 a 480 GJ/ha/año

Para la energía eólica, Rees y Wackernagel estiman una productividad de 12.500 GJ/ha/año, si bien, debido a la mejora tecnológica, esta ha aumentado considerablemente (aerogeneradores de alrededor de 2 MW y auge de las tecnologías off-shore). Algunos parques presentan rendimientos óptimos como, por ejemplo, el proyectado para el Puerto de Bilbao (BOPV n° 240, de 17 de diciembre de 2004), el cual ocupa, para una potencia de 10 Mw (5 torres de 2 Mw cada una), una superficie de 7.350 m² (aerogeneradores + transporte de la energía fundamentalmente). Al régimen de vientos medio de una zona templada, como el norte de España (2000 a 3000 horas al año y vientos de 3,5 a 12 m/s) se estima una producción de 23.385 MWh/año. Producción por hectárea: 31.816 MWh (114.538 GJ/ha/año). Los datos pueden ser aun mejores en los parques off-shore, pues somos de la opinión de que estos no tienen por qué interferir con la pesca, como algunos piensan, sino, todo lo contrario, pueden beneficiarla (mejorando la

huella del "mar", debido al "efecto arrecife" de las bases y escolleras de hormigón y al "efecto reserva" de los espacios entre las torres).

En el momento actual, creemos oportuno establecer una media entre los datos de Rees y Wackernagel, para parques más antiguos, y estas nuevas tendencias ($12.500 + 114.538/2 = 63.519 = \pm 60.000$), datos que habrá que revisar periódicamente.

En cuanto a la energía solar fotovoltaica, Rees y Wackernagel estiman una productividad de unos 1000 Gj/ha/año. Teniendo en cuenta que la tecnología va mejorando la eficiencia de las placas, asumimos aquí una productividad algo mayor: 9 m² de superficie de panel por kW pico; 1100 kWh/m² de insolación (clima templado, no extremo, como el del norte de España); producción: 398 kWh/año por cada kW pico; producción por hectárea: 442.222 kWh/año (1.592 Gj/ha/año o ± 1.500 Gj/ha/año).

Finalmente, para la energía solar térmica, estos autores estiman una productividad de entre 10.000 y 40.000 Gj/ha/año.

Factor de equivalencia

Obtenida la huella de los "cultivos", de los "bosques" o de los "pastos", aun falta un último paso para conocer la huella final. Obviamente no podemos comparar un terreno de bosque con una superficie de mar, por ejemplo, ya que la productividad del bosque es mucho mayor que la del mar, y la productividad de las tierras cultivables es mucho mayor que la de los bosques. Por eso deben homogenizarse los diferentes tipos de suelo multiplicando la huella de cada una de ellas por un factor de equivalencia, el cual representa la productividad potencial media global de un área bioproductiva, con relación a la productividad potencial media global de todas las áreas bioproductivas. Un factor 3,2 significa que esa categoría de tierra es 3,2 veces más productiva que la tierra bioproductiva media mundial.

El paso final, por lo tanto, es multiplicar la huella resultante de la división consumo/productividad por este factor de equivalencia, obteniendo así la huella final equivalente. En la Tabla 1 se muestran los factores de equivalencia tomados de la huella de Chile de Wackernagel (1998a), que son los que utilizamos en esta versión, los cuales difieren ligeramente de los que muestra en su huella familiar (Wackernagel *et al.*, 2000) o de los que calcula para el año 2001 (Wackernagel *et al.*, 2005b).

Tabla 1. Factores de equivalencia	
Categoría de superficie	Factor equivalencia
Energía fósil	1,13868813
Tierra cultivable	2,82187458
Pastos	0,54109723
Bosques	1,13868813
Terreno construido	2,82187458
Mar	0,21719207

Cálculo de la huella asociada al consumo eléctrico

Una vez analizados los diferentes grupos de columnas, vamos a describir a continuación las filas de la hoja de cálculo, por grupos de categorías de productos y elementos de consumo propios de la actividad empresarial. Dichas categorías son

las siguientes: 1) energía (electricidad, combustibles, materiales, materiales de construcción, servicios y desechos); 2) suelo ocupado; 3) recursos agropecuarios y pesqueros; y 4) recursos forestales.

Para calcular la huella del consumo eléctrico transformamos los kilowatios consumidos a julios ($1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ Mj} = 0,0036 \text{ Gj}$). Esta conversión sirve para las energías renovables y para la energía nuclear.

Cuando la electricidad es generada a partir de combustibles fósiles (eficiencia del 30%), la huella por unidad energética final consumida es unas 3 veces mayor que cuando se usan los combustibles fósiles directamente. Por eso, la huella de la energía producida por centrales térmicas de carbón o combustibles líquidos es de $0,0036/0,3 = 0,0120 \text{ Gj/kWh}$

Para obtener el consumo anual en Gj/año, multiplicamos el consumo en kilowatios hora por la intensidad energética correspondiente a ese tipo de energía. Para obtener la huella, se divide el consumo resultante entre la productividad energética correspondiente (55 Gj/ha/año para el carbón; 71 Gj/ha/año para los combustibles fósiles líquidos; 93 Gj/ha/año para el gas).

Si no se conoce la procedencia exacta de la energía, se asume por defecto que corresponde a centrales térmicas de carbón o de combustibles líquidos según la región. En nuestro caso, la mayor parte de la energía procede de Hidrocarbónico, cuya proporción de producción en la región es conocida, lo que nos permite asignar un porcentaje de la misma a térmicas de carbón, otro a ciclo combinado, otro a nuclear y otro a hidráulica.

La huella de la electricidad generada con combustibles fósiles se carga a "energía fósil" mientras que la hidráulica y eólica se carga a "pastos", ya que tanto presas como aerogeneradores suelen ocupar zonas altas. Las presas de cursos bajos y la energía solar suele ocupar zonas aptas para cultivos.

Para convertir kWh a toneladas de combustible utilizado en la producción de electricidad se utilizó la base de datos del *Institut für Verfahreners und Kältetechnik*, modelo utilizado para la producción de electricidad en España que se basa en el análisis del ciclo de vida (Tabla 2). Los datos presentados incluyen todo el ciclo de vida del combustible (extracción, transporte, etc.), excluyendo la infraestructura de producción (la central térmica propiamente dicha, la presa, las conducciones, etc.).

Tabla 2. Factor de emisión y consumo de combustible por kWh producido		
kWh producido por instalación	Factor de emisión (gr de CO₂)	Consumo de combustible
Térmica de carbón (antracita o hulla)	979	0,613 kg
Térmica de lignito	1350	1,480 kg
Gas	679	0,241 m ³
Fuel	880	0,275 kg
Nuclear (uranio)	5,71	-
Hidráulica	0	-

Como se puede ver en la hoja de cálculo, la huella de la APG debida al consumo directo de electricidad, en el año 2004, fue de 968,2 hectáreas (un 14,9% de la huella total), correspondiendo casi toda ella a la electricidad producida en centrales térmicas de carbón.

Cálculo de la huella asociada al consumo de combustibles

Cuando los combustibles fósiles líquidos se utilizan directamente, se calcula el consumo en julios multiplicando el consumo en litros del combustible (gasolina o diesel de diferentes tipos), y transformado a toneladas (1 litro pesa 0,8 kg), por su contenido energético (35 Mj/l ó 35/0,8 Mj/kg).

Para convertir el gasto efectuado por el uso de taxis a toneladas de combustible, estimamos que el gasto energético corresponde a un 30,5 % del coste total del servicio (Anónimo, 2002b). Conversión de euros a litros de combustible, a razón de 0,717 €/litro de diesel tipo A (tarifas de diciembre/2004, sin IVA). Se multiplica por 0,8 para pasar litros a kilogramos y se divide entre 1000 para pasar a toneladas. El cálculo exacto es el siguiente:

$$((\text{consumo en euros} * 30,5 / 100) / 0,717) * 0,8 / 1000$$

Aquí consideramos que el gasto energético del tren es un 20% y también el 30,5% para el avión, con un precio de combustible de 0,392245 €/l, para el primero (diesel tipo C) y de 323 €/t, para el segundo (referencia internacional del queroseno para el norte de Europa, a finales de 2004: 430 \$/t = 323 €/t).

Teniendo en cuenta que los precios de los combustibles son fluctuantes, periódicamente (mejor cada año), se deberán actualizar las tarifas del combustible, en la hoja de cálculo, para efectuar correctamente las conversiones: a) en el Capítulo 1.2 "Combustibles" (precios de los diferentes combustibles y apartados "taxi", "tren" y "avión"); b) en el Capítulo 1.4 "Materiales de construcción" (apartado "energía"); c) en el Capítulo 1.5 "Servicios" (todos los apartados); y d) en el Capítulo 3 "Recursos agropecuarios" (apartado "servicio de restaurante").

Todos estos consumos asociados a combustibles líquidos fósiles se dividen entre la productividad energética de los mismos (71 GJ/ha/año), obteniendo así la huella de la "energía fósil".

Cuando el combustible es biodiesel hay que tener en cuenta que la fabricación de 1 m³ de biodiesel precisa 14,83 GJ (datos de la empresa Bionorte, Asturias; febrero/2005). Esta huella se computa en "energía fósil", mientras que otra parte debería computarse en "tierra cultivable" ya que este combustible proviene de la biomasa. Sin embargo, al proceder actualmente de un producto de desecho (aceites vegetales de frituras) se supone que esta última huella ya se computó en el momento de su primer uso.

Aunque para el cálculo de la "huella familiar" del combustible consumido por el vehículo, Wackernagel y su equipo añaden un 50% más en concepto de energía consumida en la fabricación del vehículo (15%) y de energía consumida en la fabricación de carreteras y su mantenimiento (35%), aquí no se incluyen estos conceptos por los siguientes motivos: a) la huella de los vehículos en sí ya se incluye en el capítulo de consumo de materiales; b) parece conveniente incluir la huella de las infraestructuras públicas de uso común, en el cálculo de la huella urbana, regional o nacional, pero no en el caso de la huella ecológica corporativa, donde hemos convenido incluir sólo los consumos que figuran en las cuentas contables de la empresa (evitando así, arbitrariedades a efectos comparativos); c)

resultaría, además, incoherente incluir la huella de los viales públicos, por ejemplo, y no incluir el resto de infraestructuras de uso público, como las aceras y calles por las que caminan los vendedores; los aeropuertos y las estaciones de tren o de metro que toman los viajeros; las conducciones por las que recibimos el agua o los tendidos eléctricos por los que recibimos el suministro; las infraestructuras para el uso del teléfono, etc.

Resulta importante incidir en este aspecto de la metodología. Si aplicamos la norma de incluir el uso de las infraestructuras públicas, en teoría, un cliente que acude a nuestras oficinas a comprar un producto, estaría utilizando una parte de nuestra empresa, por lo que también habría que aplicarle una parte de nuestra huella. Tal modo de proceder haría el método sumamente complejo y sería, probablemente, incorrecto. Por contra, si aplicamos estrictamente la norma propuesta de incluir sólo los consumos que figuran en las cuentas contables de la empresa, la huella de las carreteras se cargaría a la Demarcación de Carreteras (Administración que funciona, a todos los efectos contables, como una empresa), la huella de las líneas e infraestructuras telefónicas se cargaría a las compañías telefónicas, la huella de las aceras al Ayuntamiento, etc. Es decir, toda huella quedaría perfectamente reflejada en una u otra entidad (pues todo está contabilizado), asegurando así la coherencia del método y obligando a cada entidad o institución a que asuma su propia responsabilidad en el camino hacia la sostenibilidad.

En cualquier caso, estamos estudiando incluir la "huella de los impuestos", los cuales están perfectamente contabilizados y, en cierto modo, vienen a reflejar el uso que la entidad hace de los bienes y servicios públicos.

Según Wackernagel y su equipo (huella familiar), 1 m³ de gas natural contiene la energía de 8,905 Mcal y 1 Mcal corresponde a 4,184 MJ, por lo que el contenido energético del gas ciudad es de 0,0373 GJ/m³. En cuanto al gas en botella el mismo autor utiliza un contenido energético de 40 GJ/t, recomendando, no obstante, buscar mejores referencias. Como ya se ha dicho anteriormente, la productividad energética del gas es de 93 GJ/ha/año.

Para el carbón, la leña, la biomasa de madera y la biomasa procedente de otros restos vegetales, unánimemente se utiliza un contenido energético de 28 GJ/t, 20 GJ/t, 20 GJ/t y 15 GJ/t respectivamente. Como ya se ha dicho, la productividad del carbón es de 55 GJ/ha/año, imputándose la huella resultante (consumo/productividad) a "energía fósil".

La productividad de la leña es de 2,25 t/ha/año, la cual se obtiene del siguiente modo: la productividad media mundial de la madera (en rollo) es de 1,99 m³/año. El factor de desecho de la madera para leña es de 0,53, lo cual quiere decir que por 1 kg de leña se necesitan 0,53 kg de madera en rollo. Es decir, el bosque produce 1,99 m³ de madera en rollo ó 1/0,53 más de leña (o, lo que es lo mismo, el bosque produce casi el doble de leña que de madera en rollo por hectárea y año). Se asume una densidad media de la madera de 600 kg/m³ (0,6 t/m³).

$$(1,99 * 0,6) * 1/0,53 = 2,25$$

Cuando la madera se obtiene de cultivos energéticos para biomasa, se asume que la productividad es el doble de la anterior (4,50 t/ha/año) ya que los bosques se mantienen en estado de máximo rendimiento sostenible. La huella de estos dos combustibles se asigna a "bosques".

Cuando la biomasa para combustibles se obtiene de otros restos vegetales (no madera) se asume una productividad equivalente a la de los cereales (2744 kg/ha/año), multiplicada por dos (restos y desechos vegetales no consumibles). Su

huella se imputa a "terrenos cultivables". Hay que destacar que, aunque la utilización de biomasa como sustituto de combustibles fósiles no es exclusiva de la agricultura ecológica, cuando esta biomasa es cultivada mediante sistemas de agricultura ecológica en lugar del sistema convencional, las emisiones de gases de efecto invernadero son más bajas (Anónimo, 2005). Es una prueba más de que el empleo de la huella ecológica es una vía importante para la mejora continua de los métodos y técnicas de ecoeficiencia.

La huella ecológica de la APG debida al consumo directo de combustibles fue de 129,9 hectáreas (un 2% del total), destacando la huella debida a los viajes de empresa en avión.

Cálculo de la huella asociada al consumo de materiales

Los datos del consumo de materiales en gigajulios se obtienen multiplicando las toneladas de producto consumido por su intensidad energética, tal y como se mencionó más arriba. Como normalmente los datos de consumo de materiales vienen en euros (muy pocas empresas poseen una "contabilidad de los materiales"), hay que convertir euros a toneladas, para lo cual utilizamos los Capítulos Arancelarios de Comercio Exterior.

En la Tabla 3 se muestran los 99 capítulos arancelarios agrupados en 23 grupos según su naturaleza, intensidad energética y "materialización" (toneladas por cada 1000 euros). Recomendamos utilizar la base de datos de las Cámaras de Comercio (<http://aduanas.cameras.org/>) -la cual publica todos los años los datos de importaciones y exportaciones. Recomendamos también actualizar todos los años – o periódicamente- la tabla de conversión que se ofrece a continuación. Esta actualización, realizada, al menos, cada 2 ó 3 años, reflejará los avances que se vayan produciendo en cuanto a eficiencia de los materiales y desmaterialización (*Estrategia para el Uso Sostenible de los Recursos Naturales*; COM 2003, 572 final, de 1-10-2003). Aunque en teoría, una empresa puede comprar a cualquier país, en la práctica casi todas las compras son nacionales, por lo que, para dicha conversión, hemos optado por utilizar los datos de exportaciones (ventas al precio de España) frente al de importaciones.

Tabla 3. Intensidad energética y conversión de los materiales, de euros a toneladas			
Categoría de Materiales	Capítulos arancelarios	Intensidad energética (Gj/t)	Índice de conversión (toneladas por mil euros)
Mineral bruto en general	25, 26	1,50	12,76
Cemento, yeso, piedra, tierra, sal, azufre, etc.	25	3,30	21,33
Manufactura cemento, yeso, piedra....	68	5,00	2,18
Vidrio, porcelana, material refractario....	69, 70	20,00	2,07
Derivados del plástico	39	43,75	0,76
Material textil sintético semi-elaborado	54, 55, 56, 60	43,75	0,28
Textil sintético confeccionado	57 a 59 y 61 a 66	50,00	0,11
Abonos	31	50,00	6,63

Combustibles, aceite mineral, etc.	27	43,75	4,54
Productos químicos, higiénicos y de limpieza; pinturas, barnices, etc.	28, 29, 32, 33, 34, 35, 38	35,00	0,75
Productos básicos de hierro, acero y metales	72	30,00	1,65
Aluminio y derivados básicos	76	90,00	0,37
Manufacturas del aluminio	76	300,00	0,37
Manufacturas del hierro, acero y metales	73 a 75; 80 a 83, 93 y 94	100,00	0,31
Miscelánea de productos manufacturados	95, 96	100,00	0,12
Maquinaria industrial	84	100,00	0,15
Aparatos eléctricos, telecomunic., sonido, oficina	85, 90	140,00	0,08
Vehículos terrestres, tractores	87	140,00	0,17
Vehículos y material para vías férreas	86	140,00	0,10
Barcos y demás artefactos flotantes	89	140,00	0,19
Joyería, oro, piedras preciosas	71	150,00	0,01
Productos farmacéuticos	30	200,00	0,03
Productos fotográficos y cinematográficos	37	600,00	0,27

En algunas categorías de productos se recomienda obtener la conversión directamente a partir de los precios de mercado, sobre todo cuando la categoría incluye productos dispares y cuando dicha categoría produce una gran huella. Por ejemplo, el cemento pertenece al capítulo arancelario 25, pero incluye otros materiales diversos, como piedras, tierra, sal, azufre, cal, etc., que pueden desvirtuar bastante la conversión de euros a toneladas. Teniendo en cuenta que el cemento es causante de una huella muy importante en algunos sectores, hemos obtenido los precios directamente del sector de la construcción. Por el primer método, el índice de conversión es de 21,33 t/1000 €, mientras que por el segundo (a razón de 90 €/t de cemento, del tipo CEM I 2,5 R granel, a finales de 2004) es de 11,11 t/1000 €. Como vemos, la diferencia es de casi el doble. Por ese motivo, una fábrica siderúrgica, por ejemplo, la cual adquiere ingentes cantidades de mineral de hierro, consumo que supone, por lo tanto, una gran huella para esa empresa, deberá obtener los precios directamente del mercado sectorial y no del apartado "*mineral bruto en general*" de la Tabla 3.

Como se aprecia, las materias primas minerales son las que menos intensidad energética y menos desmaterialización presentan, incrementándose éstas conforme aumenta la elaboración del producto. Entre las primeras, destaca el cemento, causante de una gran huella en el sector de la construcción (infraestructura y obras públicas). Aunque la eficiencia de los hornos de clinker (descarbonatación y clinkerización) para la fabricación de cemento es de 3,7 GJ/t en la Unión Europea, la mayor parte del consumo es nacional, donde la eficiencia es de 3,3 GJ/t (De Melgar, 2004).

Para calcular la intensidad energética del aluminio se estima que la fabricación de 1 t de aluminio tiene un coste energético unas 3 veces superior al del acero. Toda la huella de los materiales se imputa a "energía fósil".

En la APG, la huella de los materiales es de 775,2 hectáreas (un 12 % de la huella total) correspondiendo la mayor parte a la inversión en maquinaria industrial y

grandes equipamientos (grúas, etc.). La huella de los materiales corresponde a la energía empleada en la obtención y fabricación de los mismos.

Cálculo de la huella asociada al consumo de materiales de construcción

La conversión del costo de las obras a toneladas presenta una problemática especial, ya que en cada obra participan diferentes tipos de materiales y en diferentes proporciones. Para efectuar esta conversión hemos utilizado las fórmulas polinómicas utilizadas en la revisión de precios de los contratos de obras del Estado y Organismos Autónomos (Decreto 3650/1970, de 19 de diciembre, y siguientes modificaciones). En estas fórmulas se asigna un porcentaje a los diferentes conceptos que componen una obra (mano de obra, energía, cemento, materiales siderúrgicos, ligantes bituminosos, materiales cerámicos, madera, cobre y aluminio). Los 48 tipos de obras diferentes contemplados en la normativa, se han agrupado en 14.

En la Tabla 4 se muestra el porcentaje de cada material que corresponde al importe total de cada tipo de obra, sin IVA, una vez descontado el beneficio industrial (6%) y los gastos generales (13%). Cada uno de estos porcentajes debe dividirse por 0,85, ya que un 15% del importe no está sujeto a revisión de precios. El aluminio se desecha por no participar apenas en ninguno de los tipos de obras considerados.

Tabla 4. Porcentaje de materiales de construcción según el tipo de obra (%)								
Tipo de obra	Mano obra	Energía	Cemento	Siderúrg.	Bitumin.	Cerámicos	Madera	Cobre
Carreteras pavimento hormigón	34	26	5	18	2			
Pistas y caminos de hormigón	36	27	19	3				
Firmes base bituminosa	29	19		11	26			
Zanjas y túneles pequeña sección	34	16	18	14			3	
Movim. Tierras, rellenos, dragados	31	54						
Grandes canales y presas	27	21	12	25				
Obras gran volumen hormigón	28	11	32	14				
Obras metálicas, ferrocarriles	29	9	8	39				
Edificios de fábrica u hormigón	35	9	10	13		12	6	
Edificios estructura metálica o mixta	34	9	8	20		8	6	
Líneas eléctricas hasta 45 k	28		5	22			2	28
Instalac. eléctricas subterráneas	24		12	9				40
Instalaciones de iluminación	20	12		20				33
Obras de jardinería y plantaciones	47	28				5	5	

El porcentaje correspondiente a "energía" se convierte a combustible fósil líquido como en el capítulo de "combustibles". El porcentaje correspondiente a "mano de obra" (como todos los gastos referentes al personal de la empresa, en general) no tiene repercusión en la huella ecológica de la empresa, pues asumimos que todos los consumos personales (manutención, desplazamiento al trabajo, etc.) pertenecen a la huella individual, regional o nacional, pero no a la huella corporativa.

El resto de los cálculos se realiza igual que para el resto de materiales y toda la huella se imputa a "energía fósil", salvo la madera de construcción que también tiene una parte de huella asignable a "bosques".

Para viviendas unifamiliares se puede utilizar también el dato de la vivienda media canadiense (350 m²) utilizado por Wackernagel y su equipo en la huella familiar. Su construcción necesita 1310 Gj.

La huella de los materiales de construcción, en la APG, asciende a 3.127 hectáreas (un 48,2 % de la huella total), correspondiendo la mayor parte al consumo de combustibles de la maquinaria de construcción, al consumo de cemento, al consumo de hierro y acero y al consumo de material asfáltico. Los materiales de este apartado y del anterior suman en conjunto 3.902,2 hectáreas, lo cual supone un 60,2 % de la huella total.

Cálculo de la huella asociada al consumo de materiales amortizables

Aunque en un principio se consideró no contemplar la "huella histórica" y no incluir el inmovilizado de la empresa en el cálculo de la huella (Doménech, 2004a), con posterioridad consideramos que su inclusión presenta en realidad varias ventajas: a) evita grandes altibajos de huella, de un año a otro, debido a las grandes inversiones (si se incluye una gran obra o una gran inversión en un único año, la huella de ese año aumenta mucho, mientras que al año siguiente podría bajar drásticamente); b) la inclusión de las amortizaciones anuales de todo el inmovilizado no amortizado da una visión más amplia de la huella total de la empresa; c) la *huella amortizable* también se puede obtener fácilmente a partir de los registros contables de la empresa o corporación. Se recomienda, por tanto, "amortizar" la huella de las grandes inversiones y de todo el inmovilizado amortizable, en los mismos años de su vida útil.

En el caso de la huella de la Autoridad Portuaria de Gijón hemos utilizado los 17 grupos de inmovilizado y los subgrupos correspondientes, comunes a todo el sistema portuario español. Cada uno de dichos subgrupos se va incorporando a la categoría de materiales o al tipo de obra correspondiente, vistos más arriba, destacando únicamente que los Departamentos Económico-Financiero de los puertos incluyen los rellenos de muelles (una de las inversiones portuarias más importantes) en el grupo de los terrenos, grupo que no se amortiza contablemente. Teniendo en cuenta las especiales características de este tipo de "terrenos", procedente de rellenos artificiales y consumidor de abundantes materiales y energía, hay que considerar su huella, amortizándolos extra-contablemente (dividiendo la inversión entre la vida útil de diques y muelles: 50 años).

Cálculo de la huella de los servicios

Detrás de cada servicio "consumido" también existe un consumo de materiales y energía por lo que su huella también debe ser calculada. Para estimar el consumo energético asociado a los servicios se asume que una parte de la factura del servicio corresponde al consumo energético, realizando la conversión de esa parte

proporcional de euros a combustible fósil. Los porcentajes de la factura que corresponden a energía se han estimado en base a la facturación de estos servicios en la Autoridad Portuaria de Gijón (Tabla 5).

Tabla 5. Datos para el cálculo de la huella de los servicios			
	% de la factura que corresponde a energía sobre el importe total	Contenido energético del combustible (Gj/t)	Productiv. energética (Gj/ha/año)
Servicios "de oficina"	2	43,75	71
Hoteles	1,5	43,75	71
Teléfonos (fijos y móviles)	8	43,75	71
Servicios médicos	6	43,75	71
Servicios sociales, ocio, etc.	4	43,75	71
Formación	2	43,75	71
Servicios de mantenimiento	12	43,75	71
Servicio de restaurante	8	43,75	71
Correo, paquetería, transporte	20	43,75	71

El cálculo se realiza de la siguiente forma: se estima que un 2% del importe total de los servicios "de oficina" (asesorías, asistencias técnicas, diseño de proyectos, seguros, finanzas, software, diseño gráfico, etc.) corresponde al gasto energético. Este se pasa a litros de combustible fósil líquido según el precio del mismo en el momento actual (0,717 euros/litro); se pasa a kilogramos multiplicando por 0,8 y, finalmente, de kilogramos a toneladas:

$$((\text{importe total del servicio} * 2/100) / 0,717) * 0,8 / 1000$$

El resultado se multiplica por el contenido energético del combustible (43,75 Gj/t) para obtener el consumo en gigajulios, y se divide entre la productividad de los combustibles fósiles líquidos (71 Gj/ha/año) para obtener la huella.

Entre los "servicios de mantenimiento" incluimos el mantenimiento eléctrico, conducciones de agua o telecomunicaciones, mantenimiento de fachadas, servicios de vigilancia móvil, servicios de limpieza, y, en general, todos aquellos servicios que supongan frecuentes desplazamientos. Como se aprecia en la tabla, el servicio que más huella produce es el de paquetería y transporte, debido al fuerte consumo energético de los desplazamientos.

En el caso de la APG, la huella de los servicios asciende a 150,9 hectáreas (un 2,3 % de la huella total), correspondiendo toda ella a la "energía fósil".

Cálculo de la huella de los residuos, emisiones y vertidos

La huella de los residuos sólidos

La huella de los residuos se calcula -según método de Wackernagel y su equipo (huella familiar)- del mismo modo que para los materiales, con su misma intensidad energética, restando el porcentaje de energía que puede recuperarse por reciclaje. Los autores citados estiman que para el papel y cartón puede recuperarse un 50% de energía por reciclaje: es decir, si, por ejemplo, la huella de x toneladas de residuos de papel es de 30 hectáreas, con un 100% de reciclaje, la huella quedaría en 15 hectáreas.

Para el aluminio estima una recuperación del 90%; para los metales magnéticos, un 50%; para el vidrio, un 50%; y para los plásticos, un 70%. Hemos añadido, una recuperación de un 100% para los residuos orgánicos (por compostaje), y un 50% para los residuos sólidos urbanos (a partir de todos los anteriores). Para los escombros, estimamos una recuperación de un 90%.

Así por ejemplo, para una producción de desechos de papel de 4 t/año, y a una intensidad energética de 30 Gj/t, se obtienen 120 Gj/año, los cuales, a una productividad de 71 Gj/ha/año, supone una huella de 1,7 hectáreas. Esta se multiplica por la energía recuperada a través del reciclaje ($1 - n / 100 * 0,5$ donde n es el porcentaje de reciclado real, 50% en el caso del puerto de Gijón, y 0,5 es el porcentaje estimado de energía que puede ser salvada por reciclaje). Finalmente, el resultado se multiplica por el factor de equivalencia para obtener la huella asignada a la "energía fósil" (1,4 ha/año), pero, además, en el caso del papel, hay una huella atribuida a "bosque" la cual se calcula dividiendo la producción en toneladas por la productividad forestal (4 t / 1,01 t/ha/año) y multiplicando el resultado por una fórmula de recuperación por reciclaje parecida a la anterior, tal y como se puede ver en la hoja de cálculo. La huella por ese concepto es de 2,7 hectáreas, por lo que la huella total del consumo de 4 toneladas de papel al año es de 4,1 hectáreas.

En el caso de la APG, la huella total de los residuos es de 219,5 hectáreas (un 3,4 % de la huella total), correspondiendo prácticamente toda ella a la energía fósil empleada en su tratamiento. Por tipo de residuo, la principal huella corresponde al tratamiento de los residuos sólidos urbanos ya que es el residuo del que se produce más cantidad, seguido de los metales y chatarra, los escombros y otros. La huella de los residuos peligrosos aun no ha sido valorada.

La huella de las emisiones a la atmósfera y de los vertidos

La metodología original de Rees y Wackernagel (1996) no incorpora la huella de los vertidos y de las emisiones (diferentes al CO₂), lo que supone el gran reto del indicador para que resulte totalmente integral. Actualmente, estamos diseñando un proyecto de investigación para incorporar estas partidas a la metodología, basado en la tabla de equivalencias de los gases de efecto invernadero a emisiones de CO₂, y en el coste del filtrado y depuración de gases y vertidos. Pensamos que estos índices de conversión podrían estar disponibles a corto plazo en una próxima versión de la hoja de cálculo.

Cálculo de la huella asociada al consumo de recursos agropecuarios

En la Tabla 6 se muestra la conversión de euros a toneladas, de los recursos naturales bióticos según las estadísticas de comercio exterior. La intensidad energética de los alimentos se extrapola a partir de los datos de Wackernagel y de Nerea. Asumimos que estas intensidades incluyen todos los insumos, como abonos químicos, pesticidas, tratamientos, etc. Una próxima aportación deberá ser la intensidad energética para los productos derivados de la agricultura y ganadería ecológica.

Las comidas de empresa constituyen una partida importante de la huella -a menudo poco considerada- de muchas empresas. Como normalmente sólo se conoce el importe total de las mismas, éste se ha desglosado del siguiente modo: asumimos que un 50 % del presupuesto de comidas y dietas corresponde a servicios de restaurante (ver capítulo "la huella de los servicios") y un 50 % a alimentos. De estos últimos, un 25 % corresponde a carnes, un 25 % a pescados, un 12 % a cereales, un 10 % a bebidas, un 8 % a legumbres y patatas, un 6 % a

dulces o postres, un 5 % a aceites, un 5 % a lácteos y un 4 % a café y té. Un 25 % de las carnes corresponde a pollo y aves, un 25% a cerdo y embutidos, un 25 % a ganado de grano, y un 25 % a ganado de pasto. En las comidas de empresa, y al contrario de la alimentación familiar, consideramos algunas partidas poco significativas como pueden ser las verduras o las frutas.

Tabla 6. Intensidad energética y conversión de los recursos naturales agropecuarios, de euros a toneladas				
Categoría de Materiales	Intensidad energética (Gj/t)	Capítulos arancelarios	Conversión (toneladas por 1000 €)	Product. natural (t/ha/año)
Manufacturas del esparto, cestería, etc.	5	46	0,57	1,500
Material textil natural	5	51 a 53	0,21	1,250
Vestuario y textil confección de algodón	10	52	0,31	1,000
Vestuario y textil confeccionado de lana	10	51	0,18	0,020
Manufactura del cuero y pieles	20	42, 43	0,08	0,033
Carnes	80	2	0,65	0,033
Pescados y mariscos	100	3	0,50	0,029
Cereales, harinas, pastas, arroz, pan	15	10	4,69	2,264
Bebidas (zumos, vino, champán)	7	22	0,34	22,500
Legumbres, raíces y tubérculos	10	7	1,45	6,730
Azúcar, dulces, turrone	15	17	0,70	4,893
Aceites y grasas	40	15	0,71	1,485
Lácteos	37	4	0,93	0,276
Cafés y té	75	9	0,54	0,566

La huella correspondiente a "energía fósil" se calcula dividiendo el consumo en Gj/año por la productividad energética (71 Gj/ha/año) y la huella correspondiente a "cultivos" o "pastos", dividiendo el consumo en toneladas por la productividad natural.

La productividad estimada por Wackernagel en la huella de Chile para la carne de bovino, ovino y caprino es de 33 kg/ha/año. Cuando este ganado es alimentado con grano la huella se imputa a "cultivos" y a "pastos" ya que se asume una parte de pastoreo. En el caso de aves y cerdo la huella se imputa a "cultivos" ya que se les supone animales de corral (se utiliza la productividad de los cereales: 2,744 t/ha). Este autor estima que la huella del consumo de aves es 3,5 veces mayor que si los cereales utilizados en el pienso se consumiesen directamente; 6 veces más en cerdos; y 16 veces más en ternera o cordero (más detalles en los comentarios de la hoja de cálculo).

Wackernagel multiplica la huella del pescado por el factor de desecho capturas-consumo (1,6), el cual se calcula dividiendo la captura o producción mundial (113.284.100 t) por el consumo medio global (12,8 kg * 5.544.000.000 personas).

En el caso de la APG, la huella de los recursos agropecuarios y pesqueros es de 636,4 hectáreas (un 9,8 % de la huella total), correspondiendo la mayor parte de huella a "terrenos cultivados" (228 ha), y seguida de los "pastos" (164,9 ha), "mar"

(164,7 ha) y “energía fósil” (78,7 ha). Debido a su escasa productividad, los alimentos que más huella producen son los pescados y las carnes. Los cálculos obtenidos muestran detalles interesantes, como lo beneficioso que resulta para los ecosistemas el consumo de vegetales frente a las carnes o el hecho de que, para una misma cantidad consumida, la carne de ternera produce una huella mucho mayor que la de cerdo o aves.

Algunas partidas de vegetales muestran, sin embargo, una huella mayor que otras, como los cereales, la cual se debe a que la conversión de euros a toneladas (al ser un producto barato) arroja un importante consumo (61,4 t/año), lógico, por otra parte, ya que estos son un importante componente de la dieta (pan, pastas, arroces, salsas, etc.).

Alternativa metodológica para la huella de los alimentos

Existe un método de cálculo alternativo para la huella ecológica de los alimentos, derivado del hecho de que su huella ecológica neta atribuible a “cultivos” y a “pastos”, es cero a escala mundial: si en unos países hay déficit de producción, en otros habrá superávit, con una media global resultante cero.

El cálculo de la huella ecológica de regiones o países se enfoca desde la perspectiva de la *deuda ecológica* (Oddone y Granato, 2004), pues interesa conocer el origen del producto (¿procede lo que consumimos del interior de nuestras fronteras o procede de territorios ajenos?), así como la responsabilidad que tenemos, o tendremos, a la hora de abordar la recuperación ambiental global. Sin embargo, el cálculo de la huella ecológica corporativa se enfoca, como ya dijimos, hacia el producto, pues interesa conocer el “contenido” de huella ecológica que poseen los productos que adquirimos. Recordemos que la huella ecológica se podría llegar a aplicar como eco-etiqueta con el fin de conocer la huella de cualquier producto en cualquier momento de su ciclo de vida. Esta segunda alternativa metodológica se fundamenta en el siguiente razonamiento:

- a) Cuando un granjero produce hortalizas o carne para la venta, no es el consumidor final de sus productos, pero como ya hemos establecido, es un *consumidor intermedio* y por lo tanto hay que imputarle la huella de esos alimentos exactamente igual que si los consumiera directamente (recordemos que, si un incendio destruye una plantación, ese producto ya no puede pasar a ningún otro eslabón de la cadena productiva, debiendo imputar su huella al último poseedor). Es decir, si un granjero cultiva hortalizas o frutales en una hectárea de terreno, la huella de los “cultivos” (lo consumido) sería de 1 hectárea, mientras que su contra-huella (o terreno disponible) sería también de 1 hectárea, ya que siempre es poseedor de los terrenos que utiliza (no existen los agricultores “furtivos”). El resultado final es que la huella neta de los “terrenos cultivables” (o de los “pastos”, en su caso) ¡es cero!. Obviamente, seguiría habiendo, entre otras, huella ecológica atribuible a la “energía fósil”, debido al consumo de combustibles, abonos, pesticidas, etc.
- b) Eso en cuanto a la empresa productora, pero ¿qué sucede con la empresa consumidora?. Cuando cualquier empresa adquiere y consume (a través, sobre todo, de las comidas de empresa) los alimentos que produjo el granjero, la huella de los “cultivos” o de los “pastos” de esos alimentos es igual a cero, debiendo atribuirles únicamente la huella de la “energía fósil”. Aquí radica la diferencia fundamental con el primer método de cálculo, ya que, en el caso de la APG, habría que eliminar la huella de los cultivos (228,1 ha) y de los pastos (165 ha) que figuran en el apartado “3” de la Hoja de Cálculo.

- c) ¿Qué ocurre cuando una empresa no agropecuaria posee terrenos que dedica al cultivo o a pastos sin obtener beneficio (para mejorar su valor paisajístico; para mantener fértiles terrenos de su propiedad, etc.)?. Ese es el caso de la APG, la cual posee terrenos con frutales en algunos faros costeros. En este caso, la huella de esos productos no se puede imputar a la APG ya que ni son utilizados para consumo propio ni para la venta (son regalados al personal de mantenimiento, vecinos, etc.); esos terrenos tan solo se contabilizan como terrenos disponibles (contra-huella o capital natural), motivo por el cual sostenemos que la inversión en terrenos de este tipo (masas forestales, montes para pastos, etc.) es una buena estrategia de futuro para cualquier tipo de empresa que desee invertir en sostenibilidad. En este caso, la APG ni siquiera es consumidor intermedio ya que ni siquiera llega a poseer esos productos. Lo mismo ocurre con las aguas portuarias (como veremos) pues, si bien las mantiene y vigila, el producto obtenido (la pesca) es aprovechado por los pescadores locales.
- d) En definitiva, cuando una organización consume o venda sus propios productos hortofrutícolas o ganaderos habrá que imputarle tanto la huella de los mismos como la contra-huella (con una huella neta igual a cero; $1 \text{ hectárea} - 1 \text{ hectárea} = 0$), mientras que si no es el beneficiario directo, tan solo se le imputará la segunda ($0 \text{ hectáreas} - 1 \text{ hectáreas} = -1$).

En definitiva, existen tres formas de contabilizar la huella y la contra-huella de los productos alimenticios en la hoja de cálculo:

- 1) Consumo de alimentos de origen externo a la organización (compra o donaciones recibidas): la huella de "cultivos" o "pastos" se imputa al apartado "3", "recursos agropecuarios y pesqueros". Esta huella será la que figura en la hoja de cálculo que adjuntamos (en el caso de aplicar el método de cálculo original) o cero (en el caso de aplicar la segunda alternativa). En ambos casos, no existe contra-huella o capital natural.
- 2) Consumo de alimentos de origen interno (utilización de espacios propios para venta o auto-consumo): la huella se imputa al apartado "2", "suelo", ya que la "tierra cultivable" se obtiene directamente sin falta de dividir el consumo de cada tipo de alimento por su productividad; la contra-huella también se imputa, como terreno disponible, en este mismo apartado, resultando una huella neta igual a cero.
- 3) Producción propia sin beneficio (sin consumo o venta): la huella es cero y la contra-huella o espacio disponible se imputa en el apartado 2, "suelo". Esta opción aporta contra-huella y permite reducir la huella general de la organización.

Hay que añadir que, aun cuando dijimos que prácticamente toda huella se puede extraer a partir de los gastos registrados en las cuentas contables de la organización, esto es cierto para todos los eslabones de la cadena productiva, salvo para el primero, ya que para que un producto pueda circular por el mercado, primero hay que producirlo.

Así pues, es posible que, en sucesivas versiones, eliminemos la huella de los alimentos atribuida a "tierra cultivable" y a "pastos", si bien se mantendría la huella asociada a "energía fósil", que es la correspondiente al consumo de combustible de los tractores, empleo de abonos, pesticidas, etc. Por el momento, hemos mantenido

la huella íntegra, por fidelidad al método empleado por Wackernagel *et al.* (2000), en su huella familiar, y mientras que el argumento esgrimido no esté más consensuado.

Esto no afectaría a la huella del "mar" ya que mientras que el pescador "ocupa" un determinado espacio de pesca para beneficio propio, no dispone en su haber de espacios marinos propios o cultivables como el granjero de tierra (pues los actuales sistemas de gestión pesquera aun no contemplan la propiedad de los espacios marinos). Por lo tanto, mientras no se certifique que los pescados consumidos proceden de reservas marinas, áreas pesqueras con derechos de propiedad espacial (o concesiones), zonas marítimas "arrendadas", o, incluso, aguas de servicio portuarias o similares, con gestión controlada, lo dicho más arriba no será aplicable al pescado. Sobra decir que, en el caso de la pesca, urge aplicar sistemas de gestión sostenibles que permitan evitar el colapso de las pesquerías y la importante huella asociada a los actuales sistemas de gestión (Doménech, 2005).

Como ya hemos dicho, la mejora en ecoeficiencia en este tipo de recursos bióticos deberá provenir de la agricultura, ganadería, piscicultura o silvicultura ecológica, ya que, además de la posibilidad de eliminar por completo el uso de combustibles fósiles y de reducir la producción de desechos, contribuye a mitigar el calentamiento global. Según se cita en el informe preliminar de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (Anónimo, 2005), las tierras de cultivo suponen el 5,7 de los stocks globales de carbono en la vegetación y en el suelo (hasta 1 metro de profundidad); la mayoría de estas tierras presentan elevadas tasas de captación de carbono, pero mucha de la ganancia se exporta en forma de productos agrícolas y restos de cultivos, siendo rápidamente liberada a la atmósfera. Si bien el carbono es de nuevo capturado en la posterior campaña, muchos suelos de uso agrícola son actualmente fuentes netas de emisión de carbono. La agricultura ecológica es reconocida como un sistema de cultivo que puede revertir dicha situación.

Cálculo de la huella asociada al consumo de recursos forestales y agua

Los datos para la conversión de euros a toneladas de los recursos forestales, se muestra en la Tabla 7. La intensidad energética de los mismos se obtiene, una vez más, de Wackernagel y de Nerea. Se considera al bosque como productor de agua, motivo por el cual el consumo de este recurso se incluye en el área forestal.

Tabla 7. Intensidad energética y conversión de los recursos forestales, de euros a toneladas				
Categoría de Materiales	Intensidad energética (Gj/t)	Capítulos arancelarios	Conversión (toneladas por 1000 €)	Product. natural (t/ha/año)
Madera, productos básicos	5	44	2,07	1,19
Mobiliario y manufactura de la madera	10	94	0,30	1,19
Papel, cartón y sus manufacturas	30	48	1,28	1,01
Productos editoriales, prensa, etc.	35	49	0,40	1,01
Manufactura del caucho	35	40	0,40	1,00

Para calcular la productividad del agua (en m³/ha/año) nos basamos en los datos de la huella familiar de Wackernagel y su equipo. Un bosque de zonas húmedas (como las de México, donde trabajó este autor) puede generar, en primavera, hasta 1.500 m³ de agua dulce por hectárea y año (a un nivel de precipitación de 15.000 m³/ha/año). En los bosques orientales de alta montaña de Asturias (norte de España) la precipitación también es de 15.000 a 17.000 m³/ha/año. En zona de pastos esa producción de agua es una décima parte de la que produce el bosque.

Aunque el uso del bosque como productor de agua puede ser secundario (lo que podría inducir a obviar este tipo de huella), en muchas zonas ya se considera un uso primario del bosque, debiendo computarse, en consecuencia, su huella ecológica. Teniendo en cuenta el valor que está adquiriendo el agua y su creciente escasez a escala global, conviene computar la huella de su consumo en todos los casos, aun en zonas excedentarias.

El cálculo de la huella del agua, aplicado al consumo de la APG (217.196 m³/año) es el siguiente: $217.196 / 1.500 = 144,8$ ha, las cuales, multiplicadas por el factor de equivalencia de los bosques (1,13868813), arroja un total de 164,9 hectáreas/año.

Un consumo presente en todas las empresas es el del papel. En el año 2004, la APG gastó 91.286 euros, equivalentes a 117 toneladas, las cuales producen una huella, debido al consumo energético en su fabricación, de 56,4 hectáreas, más 132 hectáreas, por la huella asociada al consumo de árboles. En total, la huella del papel, en la APG, es de 188,5 hectáreas.

La huella total del consumo de productos forestales, en la APG, es de 405,9 hectáreas (6,3 % de la huella total), de las cuales 333 hectáreas corresponden a la huella forestal y 72,9 a energía fósil. En la hoja de cálculo se ofrecen algunos comentarios más sobre los detalles de cálculo de la huella forestal.

Como en el caso de los "cultivos" y los "pastos", la huella atribuible a "bosques" también debería ser cero, ya que los silvicultores que introducen los productos forestales en la cadena de producción, ocupan y utilizan un espacio del que realmente suelen disponer. Sin embargo, en este caso, sugerimos que la huella se mantenga tal y como se ha calculado, ya que, en el caso de la madera, existen más posibilidades de que provenga de furtivismo, deforestación o adquisición ilegal de maderas nobles tropicales. Aconsejamos eliminar esta huella de la hoja de cálculo sólo cuando se disponga de la certificación forestal correspondiente (de ahí la necesidad de seleccionar proveedores "verdes" o certificados). La eliminación de prácticas devastadoras, como la deforestación o la sobreexplotación pesquera, es otra de las aplicaciones prácticas de la huella ecológica, en la que vemos el papel fundamental del consumidor (sea final o intermedio) a la hora de demandar productos "verdes", "ecológicos" o certificados.

Contra-huella, factor de rendimiento y capital natural

Antes de analizar la huella del suelo conviene profundizar en los conceptos de *contra-huella* o *capacidad de carga*, que ya han salido a relucir en anteriores apartados. Mientras que la huella ecológica equivale a las hectáreas de terreno "consumido" o "debe" ambiental, la contra-huella equivale a las hectáreas de terreno que tenemos o "haber". La huella que no podemos eliminar reduciendo el debe (por ahorro energético, por compra de materiales eficientes, por reciclaje, etc.), hay que eliminarla aumentando el haber.

Para incrementar la contra-huella, es decir para disponer de hectáreas de ecosistema productivo, hay que invertir en "*capital natural*", esto es en zonas de

cultivos, zonas de pastos, bosques o reservas marinas, por ejemplo. La aplicación de la huella ecológica en la empresa a gran escala permitiría que el sector privado se introdujera en la conservación de los espacios naturales (existen muchos antecedentes), al tiempo que mejora su cuenta de resultados ambientales.

Al igual que la huella se obtiene multiplicando las hectáreas de terreno "consumido" por el factor de equivalencia, para obtener la contra-huella hay que multiplicar el terreno disponible, además de por el factor de equivalencia, por el *factor de rendimiento* que es el factor de productividad local de nuestros terrenos con respecto a la productividad global. Así, por ejemplo, si la productividad de nuestros bosques es similar a la productividad global de los bosques, el factor de rendimiento será 1; si nuestra productividad local es el doble de la global, el factor de rendimiento será 2, etc. En el caso de la huella ecológica del "uso del suelo", también hay que multiplicar por el factor de rendimiento, ya que es suelo propio con una productividad conocida.

En los cálculos habituales de huella ecológica aplicados a ciudades, regiones o países, la capacidad de carga o bio-capacidad incluye el terreno construido ya que realmente es un espacio donde viven personas aunque el terreno no sea ecológicamente productivo. En el caso de la empresa, hemos considerado que estos terrenos construidos no deben incluirse como contra-huella ya que ni albergan viviendas, ni son productivos, ni constituyen ningún tipo de activo ambiental (motivo por el cual preferimos denominarlo contra-huella más que capacidad de carga). Del mismo modo, Rees y Wackernagel descuentan de la capacidad de carga, un 12 % de espacio necesario para la conservación de la biodiversidad. En el caso de la empresa, aun cuando hemos incluido este 12 % en versiones anteriores (Doménech, 2004a), creemos que no es aplicable, pues tales espacios deben imputarse a comunidades más extensas, al nivel de huella municipal, regional o nacional.

Del mismo modo, Wackernagel y su equipo, en su hoja de cálculo de la huella familiar, considera que el espacio ocupado para huerta familiar y para jardín, deben incluirse tanto dentro de la huella ecológica (pues asume que esa familia consume los productos obtenidos), como de la capacidad de carga (pues son espacios ecológicamente productivos). Sin embargo, también contabilizan, en otro capítulo, los alimentos consumidos a lo largo del año, por lo que pudiera estar incurriéndose en doble contabilidad.

Conviene insistir en que, en esta adaptación de la huella aplicada a la empresa, los alimentos o recursos forestales adquiridos (que figuran entre los gastos de las cuentas contables) se imputan a los capítulos "recursos agropecuarios y pesqueros" y "recursos forestales" respectivamente, mientras que los espacios propios, destinados a cultivos, pastos, bosques o mar (capital natural), cuyos productos sean para uso propio (autoconsumo o venta), como en el caso de una industria papelera o una empresa agrícola o forestal, se imputan en "uso del suelo". Cuando estos últimos productos sean consumidos por otros, figurarán solo como contra-huella.

Como en el caso de las viviendas unifamiliares, los jardines y espacios verdes de las empresas también se consideran espacios ecológicamente productivos, ya que se les supone atendidos y "en explotación": la siega de los jardines se utilizaría como compost y los restos de la poda de árboles y arbustos como biomasa. Hemos considerado que los jardines no arbolados se contabilicen como "pastos" y los jardines arbolados, como "bosque".

Veamos un ejemplo de la importancia de que las empresas inviertan en capital natural. Si, por ejemplo, queremos colaborar con la conservación de los bosques e

invertimos en un monte con 1000 hectáreas de extensión, podremos reducir nuestra huella ecológica en 1000 hectáreas al año de forma permanente. Pero, además, tendremos un gran sumidero de CO₂ que nos permitirá participar en el mercado de emisiones, y podremos mejorar nuestra responsabilidad social corporativa (creación de empleo en la comunidad local). Pero, si, además, elegimos una zona cuya productividad natural sea el doble de la mundial, o la duplicamos por medio de buenas prácticas silvícolas (*factor de rendimiento* igual a 2), podremos descontar 2000 hectáreas de huella cada año, y así sucesivamente. La inversión en capital natural facilita la sostenibilidad total.

Huella ecológica del uso del suelo

Dicho esto, las hectáreas de superficie construida se asignan directamente a "terreno construido". No cabe duda que la creciente utilización de espacio para la construcción, viviendas, fábricas, viales, etc., es uno de los principales problemas ambientales y quizás el menos considerado, pues aun se piensa que este recurso es ilimitado. En realidad ya existen muchos municipios con problemas de suelo edificable y en adelante deberá cuidarse mucho la "intensidad del espacio" y tender a su reducción, tal y como ya sucede con la intensidad de la energía o la intensidad de los materiales.

En el caso de la APG, tal y como ya hemos dicho, los espacios destinados a cultivos, bosques o mar se contabilizan solo como contra-huella, ya que los productos de cultivos (frutales en faros) se regalan, y los restos de jardinería (compost o biomasa) son gestionados por las empresas de mantenimiento o de gestión de residuos, sin valor repercutible. Recordamos que, si estos productos se utilizaran para beneficio propio (autoconsumo, venta o uso propio), entonces habría que contabilizar este espacio como huella y como contra-huella. Los espacios de la APG se desglosan como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Uso de espacio en la Autoridad Portuaria de Gijón (m2)					
Concepto	Cultivos	Pastos (jardines) (2)	Arbolado (3)	Construido	Mar
<i>Sobre tierra</i>					
. Puerto		25.670	11.077	43.253	
. Faros	1.234 (1)	44.720	21.956	3.180	
. Otros		6.278		500	
Subtotal	1.234	76.668	33.033	46.933	
<i>Sobre mar</i>	0	0	0	2.621.557	42.727.500
TOTAL	1.234	76.668	33.033	2.668.490	42.727.500

(1) Frutales en el área de servicio de algunos faros

(2) Se asume que los restos de siega se usan para compost

(3) Se asume que los restos de poda se usan como biomasa

Los puertos presentan la peculiaridad de que gran parte de sus terrenos están contruidos sobre agua, el cual es mucho menos productivo que el suelo terrestre. Por ese motivo, las "hectáreas equivalentes" (hectáreas reales por el factor de equivalencia) son muy inferiores al terreno real disponible. Es decir, la construcción en el mar es mucho más eficaz que la construcción en tierra (aunque pueda presentar otros impactos, como el visual o la degradación costera). Los muelles contruidos sobre tierra firme, zona originalmente apta para los cultivos, ocupan 4,7 hectáreas, las cuales multiplicadas por el factor de equivalencia de las tierras cultivables (2,82187458) dan una superficie equivalente de 13,2 hectáreas. Los muelles contruidos sobre terrenos ganados al mar ascienden a 262,2 hectáreas, las cuales, multiplicadas por el factor de equivalencia del mar (0,21719207) dan

una huella ecológica de 56,9 hectáreas. La huella total por ocupación de suelo construido es de 70,2 hectáreas (un 1,1 % de la huella total).

La otra peculiaridad importante de los puertos (aun no suficientemente valorada) es que poseen aguas bajo su competencia, necesarias para la entrada de buques a puerto y fondeo, las cuales constituyen un importante e imprevisto capital natural (con importantes inversiones anuales en saneamientos, control de vertidos accidentales, control de calidad, etc.). En estudios anteriores (Armas *et al.*, 2002) calculamos que la producción natural de la zona influenciada por los diques y escolleras (aumento de biomasa, "efecto arrecife"), así como por sus dársenas interiores (prohibición de la pesca y "efecto reserva") es algo más del doble de la productividad media mundial, mientras que la productividad de las aguas locales no influenciadas por dichos efectos es aproximadamente la mitad de la productividad media mundial, lo que arroja un rendimiento medio de 1,26. Como los productos obtenidos de estas aguas no son consumidos por la APG sino por los pescadores profesionales y deportivos, este espacio no constituye huella ecológica, sino contra-huella, ascendiendo ésta a 1.169,3 hectáreas: superficie real (4.272,8) por factor de equivalencia del mar (0,21719207), por factor de rendimiento de la zona (1,26).

En el caso de empresas o entidades relacionadas con el mar existe otro importante uso del espacio como es la acuicultura, aplicable también a la acuicultura o piscicultura continental (truchas, salmónidos, etc.). El espacio terrestre destinado a la acuicultura presenta huella ya que los tanques de cultivo o bien se sitúan sobre terreno construido o bien sobre terreno originalmente cultivable (espacio ocupado multiplicado por el factor de equivalencia de los cultivos). Pero, también presenta una importante contra-huella, pues la producción intensiva de estos tanques es enormemente superior a la producción natural del mar. El factor de rendimiento resultante, en estas latitudes, asciende a 862, el cual se calcula de la siguiente forma: a) densidad de cultivo de peces en tanques de un metro de altura (subestimada) : 5 kg/m²; b) 50 % del espacio total de la planta dedicado a cultivo y 50% dedicado a otros usos; c) densidad de cultivo resultante: 2,5 kg/m²/año; d) como la productividad media del mar es de 29 kg/ha, tenemos una producción 862 veces mayor.

En el caso de la acuicultura en jaulas, en mar abierta, consideramos que no presenta huella ecológica debido a la ocupación de espacio, ya que asumimos que hoy en día ésta debe ser sostenible y que no se impide la producción natural bajo las jaulas o bateas, pudiendo incluso aumentar debido al "efecto abonado". La contra-huella de la acuicultura en mar también es elevada ya que el factor de rendimiento de la acuicultura en esta latitud con respecto a la productividad media mundial del mar es 1.724: a) densidad media de cultivo de peces en jaulas de 2 metros de altura : 10 kg/m³ ó 20 kg/m²; b) 25 % del espacio total de la concesión marina dedicado a cultivo y 75% dedicado a otros usos; c) densidad de cultivo resultante: 5 kg/m²/año; d) como la productividad media del mar es de 29 kg/ha, tenemos una producción 1.724 veces mayor. Obviamente, también existiría una importante huella ecológica debido al uso de piensos, sobre todo si estos se fabrican con harina de pescado, pero esta huella habría que contabilizarla en el apartado de consumo de recursos agropecuarios.

Vemos pues que la inversión en espacios naturales, reforestaciones, viveros, reservas marinas, etc., y las diversas técnicas de incremento de la productividad, constituyen importantes factores reductores de huella, y factores clave de competitividad futura. Algunas empresas ya se han adelantado a estos acontecimientos y están realizando importantes inversiones en el medio natural.

La huella por emisiones de CO₂

La huella ecológica de la Autoridad Portuaria de Gijón asciende a 6.483 hectáreas, las cuales se pueden expresar también en emisiones de CO₂, ya que, en los cálculos previos, estimamos que los bosques presentan un factor de absorción de 1,42 tC/ha/año (ver capítulo "Productividad energética"). Para una proporción 12:44, la absorción de CO₂ es de 5,2066 toneladas por hectárea y año. La huella del puerto de Gijón equivale a la emisión de 30.485 toneladas de CO₂ por año.

Por el momento, obviamos la absorción de los "cultivos", "pastos" o "mar" y sólo consideramos la absorción forestal, esto es la huella atribuible a "energía fósil" (absorción de CO₂) y a "bosque".

Para valorar estas emisiones diremos que una fábrica de refractarios de tamaño medio (40 a 50 empleados) emite al año unas 6.000 toneladas de CO₂, mientras que una central térmica de carbón de tamaño medio (350 MW) emite al año unos 2 millones de toneladas de CO₂. Entre las afectadas directamente por el Registro de Derechos de Emisión (con 819 cuentas y 175 MtCO₂) la empresa asturiana con mayores tasas de emisión es Aceralia, con unos 9 millones de toneladas de CO₂/año, mientras que la que menos emisiones presenta es Cerámica del Nalón, con alrededor de 3.000 tCO₂/año.

Indicadores de ecoeficiencia

Según Markus Lehni (1999), los indicadores de ecoeficiencia se obtienen dividiendo los resultados económicos del ejercicio por el impacto ambiental, siendo los dos más importantes el importe neto y la masa de producto generado o movido (entre otros, como el *cash flow*, el valor añadido, etc.). Aquí vamos a utilizar también lo que hemos denominado *PIB corporativo* (o PIBc; ver *huella social* a continuación), que es igual a la suma del cash flow más los salarios. Generalmente, estos se dividen por un sin fin de indicadores ambientales, como la energía consumida, el volumen de agua utilizada, el volumen de vertidos, la emisión de gases invernadero, la emisión de gases nitrificantes, etc., cobrando un especial interés en el caso de la huella ecológica, ya que solamente hay que dividir por un único impacto ambiental: las hectáreas de terrenos productivos.

En el caso de la Autoridad Portuaria de Gijón, el PIB corporativo en el año 2004 fue de 27.716.315 euros, mientras que el total de mercancía movida por el puerto fue de 20.060.466 toneladas. El ratio PIBc/huella ecológica fue de 5.231,5 €/ha, esto es, por cada hectárea que utilizamos para nuestras actividades obtuvimos 5.231,5 euros. Obviamente, seremos más eficientes cuanto más riqueza obtengamos por hectárea consumida (mayor "desmaterialización").

El ratio cantidad de mercancía movida/huella ecológica fue de 3.786,4 t/ha. Igualmente, seremos más eficientes cuantas más toneladas movamos por hectárea de huella ecológica. De dicho ratio se deriva que a cada tonelada de mercancía que atraviesa el puerto de Gijón se le incorporan 2,64 m² de huella, lo cual resulta muy útil para los análisis de ciclo de vida. Ambos indicadores de ecoeficiencia son muy útiles a efectos comparativos entre diferentes empresas.

De la hoja de cálculo podemos extraer otros indicadores de ecoeficiencia, tales como el PIBc/emisiones netas de CO₂ (910,9 €/tCO₂), el PIBc/gigajulios consumidos (85,4 €/Gj consumido), el PIBc/toneladas consumidas (1.200 €/t consumida), o el PIBc/gasto en recursos (2,53 €/€ consumido).

Una importante estrategia empresarial ha de ser el progresivo aumento de la desmaterialización. Según la *Estrategia temática para el uso sostenible de los recursos naturales* (COM 2003/572 final) el consumo de materiales en la Unión Europea fue, en el año 2000, de 5.900 millones de toneladas, aproximadamente, o 15,6 t/cap/año, de las que el 50% correspondió a los minerales, el 26% a la biomasa y el 24% a los combustibles fósiles. Aunque dicho consumo se incrementó sobre un 3% desde 1980, se aprecia un importante rendimiento de los materiales (un 52%) ya que, en dicho período, el consumo pasó de 16,2 t/cap/año a las citadas 15,6 t/cap/año (-3%), mientras que la economía aumentó un 50%. Actualmente, se genera más de un 50% más de valor por tonelada de material utilizado que en 1980. Para aumentar dicha disociación entre crecimiento económico y uso de materiales, toda empresa debe mejorar el ratio PIBc/toneladas consumidas.

La huella social

Aun es posible añadir otro importante y novedoso indicador, como es la *huella social*, o, en correspondencia con la huella ecológica, "la cantidad de necesidades humanas que podemos satisfacer con nuestra actividad productiva" (Doménech, 2006).

Si la huella ecológica refleja la huella que dejamos en la naturaleza, con nuestras actividades productivas, la huella social es la huella que dejamos, con esas mismas actividades, en la sociedad. Si el acaparamiento de recursos naturales (consumismo excesivo y desigual) produce diversos tipos de impactos ambientales que acaban enfermando al planeta, la acumulación de recursos sociales (conocimiento, cultura, dinero, sanidad, trabajo, bienestar...) produce pobreza y desigualdad, lo cual acaba desembocando en enfermedad social y miseria global.

Si la enfermedad ambiental del planeta se puede expresar con un simple número de fácil comprensión y claro significado, como es el número de hectáreas de "naturaleza" que consumimos de más, creemos que la enfermedad social se debe expresar con un número igualmente claro y significativo, como es el número de empleos que "consumimos" (o que podríamos crear -y no creamos- con nuestros recursos financieros). Efectivamente, un trabajo digno es el primer paso, y a menudo el único necesario, para que la persona pueda llegar a cubrir el resto de carencias como son la educación, la sanidad o el bienestar general.

Hemos basado el cálculo de la huella social, entre otros, en dos principios fundamentales: 1) toda persona tiene derecho al mismo *espacio ambiental* (*principio de equidad*; adoptado entre los principios del desarrollo sostenible, a partir del Informe Brundtland); 2) el espacio ambiental, al que toda persona tiene derecho, se puede expresar tanto en superficie o número de hectáreas productivas, como en dinero, o fruto obtenido a partir de esas hectáreas productivas (*principio fisiocrático*).

Ese espacio ambiental al que todo individuo tiene derecho es actualmente de 1,8 hectáreas por año (capacidad biológica del planeta), o de 2,2 ha/año, que es el consumo real, debido a que estamos sobrepasando la biocapacidad de la naturaleza (esto es posible debido a la quema de combustibles fósiles) (Wackernagel *et al.*, 2005a). En términos monetarios, el espacio ambiental que nos corresponde a cada uno es de 5.632 dólares/persona/año, el cual se calcula dividiendo el PIB mundial (34,1 billones, en el año 2000, en dólares constantes de 1995) por la población mundial (6.055 millones de personas) (Rosen, 2004).

Por lo tanto, aplicando ese espacio ambiental a los resultados obtenidos en la APG, obtendríamos una huella social de 2.408 personas, lo cual se obtiene dividiendo el

número de hectáreas que consumimos de más (5.298 ha), por la media de hectáreas a las que todo el mundo tiene derecho (2,2 ha/cap/año). En este caso, la huella social es igual a la huella ecológica neta expresada en número de personas. Esto quiere decir que, si la APG no consumiera esos recursos naturales de más, se podría mantener a 2.408 personas en otras partes del mundo.

Esa es una primera aproximación a la huella social, pero no es el método más eficaz: si la APG no estuviera consumiendo más hectáreas de la cuenta (es decir, si fuera totalmente sostenible), según este método, su huella social sería cero. Pero, sin embargo, podemos ser ambientalmente sostenibles y seguir apropiándonos de recursos de otros, es decir, podría seguir habiendo un reparto desigual de recursos (ya que la huella ecológica corporativa no tiene en cuenta de dónde provienen los bienes y servicios que compra), lo cual produce huella social. Por ejemplo, si obtenemos una huella ecológica cero a base de invertir en sumideros de CO₂ en el Trópico (capital natural), y no creamos en estos suficiente empleo, seguiremos apropiándonos de recursos de otros, eso sí, de forma ambientalmente "sostenible".

De hecho, no hay que olvidar que la huella ecológica bruta de algunos países es de 7 a 10 ha/cap/año, lo cual implica altos niveles de consumo, aun cuando su huella ecológica neta pudiera, con el tiempo, llegar a ser cero. Si todos los países ricos alcanzaran ese nivel de consumo, lo más probable es que fuera a costa de los países pobres, aumentando así los actuales niveles de desigualdad y, peor aun, dejándoles sin posibilidades de recuperación.

La mejor forma de calcular la huella social es, por tanto, por medio de la segunda modalidad de espacio ambiental, esto es, el fruto obtenido de los recursos naturales, una vez transformados en bienes y servicios, y estos, a su vez, en dinero. Si dividimos el "PIB empresarial" de la APG (27.716.315 euros ó 20.530.603,7 dólares) por el PIB medio al que todo individuo tiene derecho (5.632 \$/cap/año), obtenemos una huella social de 3.645 personas. Vemos que la huella social es mayor por el segundo método que por el primero, ya que los recursos monetarios no solo provienen de los recursos naturales bioproductivos sino también de los no productivos (minerales, etc.). Como ya se dijo anteriormente, hemos considerado como "PIB empresarial o corporativo" al cash flow más los salarios, aunque habría otras formas de expresar el producto obtenido, como por ejemplo el importe neto de la cifra de negocio.

Por último, hay que tener en cuenta que el PIB medio mundial por individuo (PIB per cápita) se ha obtenido dividiendo el PIB total entre el total de la población, cuando a ese PIB solo puede contribuir la población activa o personas en edad de trabajar. Para el cálculo de la huella social, consideramos, por tanto, más apropiado considerar el PIB medio por individuo activo, el cual asciende a 8.938 dólares/año (que es lo que hemos denominado *renta global*), lo que, en el caso de la APG, equivaldría a 2.297 personas en edad activa (20.530.603,7 / 8.938). Es decir, la huella social bruta es de 2.297 personas activas (huella más próxima a la calculada por el primer método), la cual equivale al empleo que podríamos crear y no creamos. Las medidas correctoras para eliminar esa huella social serían, evidentemente, la creación de empleo.

La inversión en *capital natural* va a ser un importante factor de competitividad en el futuro, pero no menos lo va a ser la inversión en *capital social*. Consideramos de suma importancia invertir en proyectos mixtos que permitan ambos objetivos: la reducción de huella ecológica (inversión en hectáreas) y la reducción de huella social (inversión en empleos). En este sentido, consideramos vital para los objetivos de *globalización integral* no dejar pasar la gran oportunidad que supone la utilización de herramientas sumamente útiles, como los *Mecanismos de Desarrollo Limpio* (MDL) del Protocolo de Kioto (para invertir en Países en Vías de Desarrollo),

y la *Responsabilidad Social Corporativa* (para incorporar a la gestión empresarial, la cooperación al desarrollo y la creación de empleo global).

Discusión y conclusiones

Evolución de la huella ecológica

En este trabajo se describe una metodología para la aplicación de la huella ecológica a las empresas y a cualquier tipo de organización. Los datos de consumos se obtienen básicamente de la contabilidad de la empresa por lo que los cálculos son más precisos y mucho menos sujetos a desviación significativa que los habituales aplicados a ciudades, regiones o naciones. En Wackernagel *et al.* (2005b) se describen los típicos errores atribuidos al cálculo de la huella ecológica de las naciones: errores conceptuales y metodológicos, errores estructurales y de entrada de datos en las hojas de cálculo, estimación de datos errónea, errores en fuentes estadísticas anuales, datos poco representativos en las estadísticas anuales de la ONU, y omisión sistemática de datos en las estadísticas de la ONU. La mayor parte de ellos se pueden obviar en el caso de la *huella ecológica corporativa*.

Algunos de los múltiples datos que se pueden obtener a partir del método presentado se muestran a continuación, destacando la posibilidad de presentar los datos en unidades de masa (toneladas) y en emisiones de CO₂. La huella ecológica bruta de la Autoridad Portuaria de Gijón es de 6.483 hectáreas/año, equivalentes a 30.485 toneladas de CO₂/año y a 23.097 toneladas de materiales/año, las cuales se distribuyen según se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Huella ecológica de la Autoridad Portuaria de Gijón por tipos de recursos				
Consumo de recursos	Huella		Contra-huella	
	ha	t CO₂	ha	t CO₂
Electricidad	968,1 (14,9 %)	5.040,3		
Combustibles	129,9 (2 %)	676,1		
Materiales	775,2 (12 %)	4.036,2		
Materiales de construcción	3.127,0 (48,2 %)	16.280,7		
Servicios	150,9 (2,3 %)	785,7		
Desechos	219,5 (3,4 %)	1.142,9		
Suelo	70,2 (1,1 %)	0	1.185,1	58,8
Agropecuarios y pesqueros	636,4 (9,8 %)	409,9		
Forestales y agua	405,9 (6,3 %)	2.113,2		
TOTAL	6.483,0	30.485,0	1.185,1	58,8

En números redondos, podemos decir que, de las aproximadamente 6.500 hectáreas de huella ecológica que posee la Autoridad Portuaria de Gijón, unas 4.000 hectáreas (61,5 %) proceden del consumo de materiales, unas 1.000 hectáreas (15,4 %) del consumo eléctrico, otras 1.000 hectáreas (15,4 %) del consumo de recursos agropecuarios y forestales, y unas 500 hectáreas (7,7 %) del resto de actividades (producción de desechos, consumo de combustibles, gasto en servicios y ocupación de suelo).

El fuerte impacto de la energía necesaria para la actividad empresarial queda patente en la Tabla 10 donde se muestra la huella ecológica de la APG por tipos de huella, y donde se observa que el impacto de la energía fósil supone más del 83 % de la huella total.

Tipo de huella o superficie	Huella		Contra-huella	
	ha	t CO ₂	ha	t CO ₂
Energía fósil*	5.389,0 (83,1 %)	28.062,3		
Tierra cultivable	228,1 (3,5 %)		0,3	
Pastos	165,0 (2,5 %)		4,1	
Bosque	465,3 (7,2 %)	2.422,7	11,3	58,8
Terreno construido	70,2 (1,1 %)			
Mar	164,7 (2,5 %)		1.169,3	
TOTAL	6.483,0	30.485,0	1.185,1	58,8

* Superficie forestal necesaria para absorber el CO₂ emitido en los procesos de combustión

Además de otros datos mostrados en los capítulos precedentes (huella expresada en PIB mundial, huella expresada en número de personas, huella en número de empleos o huella social, diversos ratios de ecoeficiencia, etc.), en la Tabla 11 se muestran las principales magnitudes en cuanto a consumo de recursos de la APG en el año 2004. Se observa que el método integra en parte (y a nuestro modo de ver, los hace más objetivos) otros indicadores de índice único, como la *necesidad de materiales totales* (NMT).

Concepto	Total año
Gasto total en recursos naturales (€/año)	10.951.251,3
Consumo energía eléctrica (kwh/año)	4.530.262
Consumo combustibles líquidos (l/año)	135.310,7
Consumo gas (m ³ /año)	6.955
Desechos producidos (t/año)	972,5
Consumo de agua (m ³ /año)	217.196,0
Toneladas de materiales (t/año) *	23.096,7
Consumo energía total en Gj/año	324.625,3

* Sin contar el agua ni los desechos

Para implantar este indicador a escala empresarial, recomendamos la creación de un *comité de estandarización* que evite la dispersión de técnicas y métodos, que permita el cálculo de huellas con los mismos criterios y que, partiendo de un estándar inicial, permita la mejora gradual citada. Como punto de partida se crea el sitio web <http://www.huellaecologica.com>, desde donde toda empresa podrá descargar la hoja de cálculo de la huella ecológica corporativa, y la cual intentará recoger todos los cambios y actualizaciones que se vayan proponiendo desde los diferentes sectores.

Aplicaciones de la huella ecológica corporativa

1) *Guía para la sostenibilidad*. La huella ecológica permite abordar con muchas garantías el primer paso de la sostenibilidad ya que, como dice Gabriel Real Ferrer, de la Universidad de Alicante, la carrera de la sostenibilidad hay que ganarla no solo mediante el control de los desechos generados (output), sino también por el

control del consumo de materiales y energía (input) (Real, 2005). Los tres pasos que debería emprender toda empresa en el camino hacia la sostenibilidad total son los siguientes: a) cuantificación del nivel de sostenibilidad, por medio del cálculo de la huella ecológica; b) estudio de ecoeficiencia de los materiales, de la energía y del espacio, de forma que permita establecer prioridades; tendencia a la desmaterialización continua, tal y como propone la citada *Estrategia Europea de los Recursos* (COM 2003/572 final, de 1-10-2003); y c) ejecución continua de proyectos para la sostenibilidad: fundamentalmente, energías alternativas, adquisición de productos "verdes" e inversiones en "capital natural".

En el caso de la APG, las medidas contra-huella (el "haber ambiental") tan solo ascienden a 1.185 hectáreas, por lo que la huella neta resultante sigue siendo elevada (5.298 hectáreas). Teniendo en cuenta los principales impactos vistos líneas arriba (materiales, electricidad, recursos naturales y varios) las prioridades de la APG para alcanzar la sostenibilidad son las siguientes:

- a) Establecer una adecuada política de compras y de contratación de obras que prime el ahorro de materiales y el uso de productos verdes o ecoeficientes.
- b) Reducir el consumo de energía eléctrica, adquirir energía verde o ejecutar proyectos de generación de energías alternativas aprovechando las importantes infraestructuras portuarias (eólica en diques, solar térmica en edificios y cubiertas de naves, energía del oleaje, etc.)
- c) Reserva de suelo para zonas verdes e inversión en "capital natural"; alianzas con concesionarios para invertir en sumideros de CO₂; promover espacios marinos protegidos; aumento de la productividad natural de las aguas portuarias de interés pesquero, etc.
- d) Uso y distribución de biocombustibles. Minimización y reciclaje de desechos.

2) *Indicador de índice único*. La huella ecológica corporativa es el único macro-indicador que, con un esfuerzo adicional, puede llegar a integrar absolutamente todos los indicadores ambientales de entrada y de salida, proponiéndose hacer hincapié en los siguientes desarrollos: a) incorporación de los desechos, tales como emisión de gases distintos del CO₂ y los vertidos; b) mejora continua de los índices de conversión descritos, a través de aportaciones técnicas y retroalimentación. Las ventajas del "índice único" se pueden obtener sin perder las ventajas del "conjunto de indicadores" a los que necesitan recurrir los especialistas, pues todos ellos están visibles en una misma tabla.

Creemos que el esfuerzo en completar el desarrollo de este indicador merece la pena, pues, según informes del Parlamento Europeo (Anónimo, 2001), ningún otro indicador de *índice único* tiene tantas posibilidades: a) el *índice de desarrollo humano* (IDH) considera la esperanza de vida, la alfabetización y el PIB per cápita, quedando excluido el medio ambiente (no es un indicador ambiental); b) *la necesidad de materiales totales* (NMT) incorpora los llamados flujos ocultos (materiales que la economía altera, como la erosión del suelo), los cuales, según informes del Parlamento Europeo *"son poco entendidos y muy propensos a error de medición"*; ya hemos dicho que la huella ecológica corporativa incorpora un consumo de materiales mucho más objetivo; c) el *ahorro auténtico* (AA) y el *índice de bienestar económico sostenible* (IBES), corrige el PIB o el gasto del consumidor, con los costes del agotamiento o depreciación de los recursos naturales; se expresan en dinero (lo cual puede facilitar la comprensión), pero, ni son exclusivamente ambientales, ni las técnicas de cálculo de la depreciación ambiental están unificadas, lo que *"ha hecho que el proceso de valoración sea muy*

controvertido". Otros indicadores, como la matriz de contabilidad nacional (NAMEA), los diversos indicadores de desarrollo sostenible, basados en índices de difícil interpretación, el análisis de flujo de materiales, el espacio medioambiental o el análisis de ciclo vital, presentan aun más inconvenientes y ni siquiera son de índice único.

Aunque los actuales indicadores ambientales recomendados por la *Global Reporting Initiative* (GRI) para confeccionar las memorias de sostenibilidad, tampoco se pueden integrar en un índice único (Anónimo, 2006), muchos de ellos están recogidos en la huella ecológica, por lo que se recomienda integrar ambas herramientas, lo que, sin duda, les aportaría valor añadido (ambas han alcanzado un importante nivel de difusión).

3) *Eco-etiquetado de empresas y de productos*. La huella ecológica permite también conocer la *huella añadida* de todo producto o mercancía, contribuyendo al desarrollo de los análisis de ciclo de vida (ACV e ISO serie 14040) (Espí *et al.*, 2001; Fullana *et al.*, 1997) y a crear una nueva eco-etiqueta integral y de fácil comprensión. Como ya hemos dicho, una de las debilidades de la huella ecológica es que la actual metodología hace mucho hincapié en el consumo energético que produjeron los materiales antes de que los hayamos adquirido (en su fabricación, en su comercialización, en su transporte, etc.), pero no se consideran, por ejemplo, los desechos que producen a lo largo de su ciclo de vida hasta que llegan a nosotros (los cuales habría que añadir a los desechos que producimos directamente). Por ejemplo, en la categoría 1.3 de la hoja de cálculo, "*consumo de materiales*", se calcula el consumo energético de la fabricación de un material determinado, pero no se tiene en cuenta los desechos que produjo hasta llegar a nuestras manos.

Este problema se resolvería de forma sencilla si la presente metodología se aplicara en todas las empresas por las que pasa un producto en cuestión: si la empresa extractora o fabricante de un producto calcula su huella ecológica, en ésta queda automáticamente recogida no solo el consumo energético, sino todos los impactos, como consumo de recursos, consumo de agua, ocupación de suelo, producción de desechos, etc. De ese modo, al adquirir ese producto ya tendríamos calculada su huella ecológica (su *etiqueta*) y no tendríamos que calcularla nosotros basándonos en su eficiencia energética. Es una mejora del actual método (de mínimos, como ya se dijo) que se produciría, de forma automática, si este se difunde convenientemente. Vemos que la retroalimentación es clave indispensable para la mejora continua de esta herramienta.

Tal y como se señala en el análisis presentado al Parlamento Europeo para evaluar la huella ecológica (Anónimo, 2001): "*la huella ecológica es, esencialmente, una clase de análisis del estudio del ciclo vital, que va un paso más lejos y pondera los impactos puede influir en las pautas de compra de los consumidores.... ya que es más atractiva y comprensible para el gran público que los datos brutos del estudio del ciclo vital*". Sin embargo, también añade; "*el estudio del ciclo vital intenta integrar todas las cargas medioambientales, incluyendo la contaminación, la cual está excluida de la huella ecológica*". Como ya hemos dicho, es muy factible -y en ello estamos- incorporar los desechos o contaminación a la huella ecológica, lo que, junto con la propagación del método, le conferiría un importante valor añadido: integración de indicadores, ciclo de vida y eco-etiquetado en una única herramienta.

4) *Herramienta justa contra el cambio climático*. Las emisiones de CO₂ no solo son cosa de fábricas y cadenas de producción, pues ya hemos visto que las emisiones equivalentes o indirectas de una empresa de servicios, como la Autoridad Portuaria de Gijón, pueden superar hasta 10 veces las de algunas fábricas incluidas en el

Registro de Derechos de Emisión. Sin embargo, actualmente casi todo el peso derivado del Protocolo de Kioto se carga sobre las empresas fabricantes, lo que es, cuando menos, y a todas luces, injusto (todos contribuimos al cambio climático por el mero hecho de activar un interruptor).

Una adecuada legislación ambiental basada en la implantación de la huella ecológica en la empresa y en cualquier tipo de organización, permitiría incorporar a todos los sectores en el Registro de Emisiones, lo que obligaría a competir por una mayor eficiencia en la reducción de huella (y en la eliminación de todos los tipos de impacto ambiental, tanto de entrada como de salida). Sería una importante estrategia más (y una importante herramienta de decisión política) contra el cambio climático, a la vez que establecería un reparto más justo de la responsabilidad por el exceso de emisiones de CO₂.

Hacia una nueva ética política y empresarial a través del desarrollo sostenible

Como hemos visto, la metodología propuesta incluye una *huella social*, la cual indica la huella que deja una corporación u organización en el empleo global. La huella social intenta responder a la pregunta: si los países desarrollados utilizamos todos nuestros recursos, más los de países pobres, para crear más y más bienes, servicios y empleos locales, ¿cuántos recursos o empleos estamos dejando a los demás?. La metodología completa de cálculo de la huella social y sus fundamentos se pueden consultar en Doménech (2006).

El reciente documento *Europe 2005, The ecological footprint* (Wackernagel *et al.*, 2005a), nos muestra la huella ecológica de las naciones, observando que, efectivamente, la Europa de los 25 tiene un nivel de consumo de alrededor de 5 ha/cap/año, es decir 2,2 veces más de lo que debería consumir utilizando su propia capacidad bioproductiva. Esto significa que depende en exceso de las importaciones de recursos de otros países. Mientras que países, como Alemania o Polonia, han conseguido estabilizar su huella, la de otros países, como Grecia, Francia o Reino Unido, continúa en ascenso, demostrando así que aun no somos autosuficientes, que aun no somos sostenibles, y que aun necesitamos de nuestros vecinos. Por contra, devolvemos más indiferencia y más desigualdad.

La huella ecológica y la huella social proporcionan, tanto a las instituciones, como a las empresas, una importante herramienta para devolver a la sociedad global los recursos y empleos acaparados durante décadas. Tal proceder, reduce huella y, en consecuencia, incrementa la ecoeficiencia, la sostenibilidad, la competitividad y los comportamientos éticos, tanto políticos como corporativos.

Instituciones, empresas y organizaciones de cualquier tipo pueden y deben reducir su huella invirtiendo en *capital natural* (conservación de ecosistemas, reforestación, sumideros de CO₂, etc.) y en *capital social* (creación de empleo local y global). Por eso, para completar el que puede ser un nuevo modelo hacia la sostenibilidad, se propone que las empresas incorporen, entre sus planes estratégicos, la cooperación al desarrollo. Esta, ejecutada a través de mecanismos altamente rentables, como por ejemplo el *Mecanismo de Desarrollo Limpio* del Protocolo de Kioto (habilitado para invertir en países en desarrollo), permite el triple objetivo de reducir huella ecológica, reducir huella social e incrementar los beneficios económicos. Por ejemplo, la creación de un gran sumidero forestal, con explotación sostenible de la madera, en un país en vías de desarrollo, permitiría el desarrollo ambiental de la zona (absorción de CO₂, conservación de la biodiversidad, protección ante la deforestación, etc.), el desarrollo social (creación de empleo local), y la obtención de beneficios (venta de la madera, actividades derivadas o nuevas oportunidades de negocio).

Como ya dijimos en anteriores trabajos (Doménech, 2006) consideramos la cooperación al desarrollo como uno de los grandes avances que se puede esperar de una empresa más competitiva, más innovadora, más ética o responsable, y, en definitiva, más propia del siglo XXI. Por eso, proponemos que se incorpore cuanto antes entre los objetivos de la *Responsabilidad Social Corporativa*, todo un novedoso e inesperado sistema de gestión que ya se está imponiendo en todas las organizaciones.

Bibliografía

- Agudo, R., Del Pino, O. y Muñoz, M. 2004. Estimación del balance de carbono en suelos forestales de Andalucía. *Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*; 22-26 Nov., 2004. Madrid. CD-ROM: 18 pp.
- Alba, J., Díaz, E. y Doménech, J.L. 2003 *Estudio de indicadores ambientales portuarios: la huella ecológica del puerto de Gijón*. Autoridad Portuaria de Gijón: 143 pp.
- Anadón, N., Doménech, J.L., Pérez, C. y Villegas, M.L. 2004. *Estudio para la conservación de la biodiversidad del entorno marino del Cabo Peñas: reserva marina de Peñas*. Autoridad Portuaria de Gijón: 435 pp.
- Anónimo, 1996. Modelo de desarrollo no viable, proceso hacia la sustentabilidad. *Serie Monografías*. Ministerio de Medio Ambiente, 1996: 25-69.
- Anónimo, 2001. La huella ecológica. *Parlamento Europeo. Dirección General de Investigación. Dirección A. Resumen de opciones y síntesis* PE nº 297.571; marzo 2001: 10 pp.
- Anónimo, 2002a. La huella ecológica de Navarra. *Gobierno de Navarra*: 34 pp.
- Anónimo, 2002b. Estudio sobre la situación y futuro del transporte. Universidad Politécnica de Madrid, 2002. Solicitado por ANFAC, AOP, RACE y AEC: 147 pp.
- Anónimo, 2005. El papel de la agricultura ecológica en la mitigación de gases de efecto invernadero. *Sociedad Española de Agricultura Ecológica; Hoja Informativa* nº 17: 8-10.
- Anónimo, 2006. *Sustainable Reporting Guidelines. G3, versión for public comment*. Global Reporting Initiative, Amsterdam: 27 pp.
- Armas, J.C., Álvarez, L.M. y Doménech J.L. 2002. *Impacto de la ampliación del Puerto de Gijón en la pesca*. Autoridad Portuaria de Gijón: 110 p.
- Arroyo, P., Pérez, J., Rodríguez, J.A. y Doménech, J.L. 2002. *Valoración ambiental de las aguas marinas de Gijón y prevención de la contaminación*. Cámara de Comercio de Gijón y Asturias Business School: 308 pp.
- Costanza, R. and Daly, H.E. 1992. Natural capital and sustainable development. *Conserv. Biol.* (6): 37-46.
- Costanza, R., Wainger, L., Folke, C. and Mäler, K.-G. 1993. Modeling complex ecological economic systems: toward an evolutionary, dynamic understanding of people and nature. *BioScience* (43): 545-555.

Costanza, R. 1993. Developing ecological research that is relevant for achieving sustainability. *Ecol. Applic.* (3): 579-581.

Costanza, R. (y 12 autores más), 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* (387): 253-260-

De Melgar, M. 2004. El cemento, un sector comprometido en la sostenibilidad y en la lucha contra el cambio climático. *Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*. 22-26 Nov., 2004. Madrid. CD-ROM: 29 pp.

Doménech, J.L. 2004. Huella ecológica portuaria y desarrollo sostenible. *Puertos* (114): 26-31

Doménech, J.L. 2004. La huella ecológica empresarial: el caso del puerto de Gijón. *Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*. 22-26 Nov., 2004. Madrid. CD-ROM: 8 pp.

Doménech, J.L. 2005. Gestión pesquera sostenible, modelo "3-P". *Boletín Económico del ICE* (2853); 5-11, sept. 2005: 37-57.

Doménech, J.L. 2006. Huella social y desarrollo sostenible: un nuevo indicador de sostenibilidad. En Segundo Encuentro Internacional sobre "Pobreza, desigualdad y convergencia"; *eumed.net. Universidad de Málaga*; marzo, 2006.

<http://www.eumed.net/eve/pedirinformes.php>

Espí, J.A. y Sejas, E. 2001. El análisis del ciclo de vida aplicado a los materiales de construcción: "el granito de la Comunidad de Madrid". En Calvo, B., Maya, M., Parra J.L., 2001, Editores). *Primeras Jornadas Iberoamericanas sobre "Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción"*. Programa CYTED. Madrid: 17 pp.

Fullana, P. y Puig, R., 1997. *Análisis del Ciclo de Vida*. Ed. Rubes. Barcelona: 143 pp.

García, J., Bravo, J., de la Llana, R. y Maestro, L. 2004. Implantación de criterios sostenibles en los pliegos de contratación de obras públicas de infraestructura. *Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*; 22-26 Nov., 2004. Madrid. CD-ROM: 17 pp.

Lehmann, H. 1999. La agenda pendiente para los nuevos escenarios. Ecoeficiencia. En *Eco-eficiencia, los negocios en el próximo milenio*. Fundación Entorno. Madrid: 29-33.

Lehni, M. 1999. El medio ambiente como factor clave de competitividad. Ecoeficiencia. En *Eco-eficiencia, los negocios en el próximo milenio*. Fundación Entorno. Madrid: 23-28.

Lenzen, M., 2001. A modified ecological footprint method and its application to Australia. *Ecological Economics* (37): 229-255.

Meadows, D.H., Meadows, D.L. y Randers, J. 1993. *Más allá de los límites del crecimiento*. Círculo de Lectores. Barcelona: 355 pp.

Mielnik, O. and Goldemberg, J. 1999. The evolution of the "carbonization index" in developing countries. *Energy Policy* (27): 307-308.

Muñoz, M., Del Pino, O., Agudo, R. y Montero, G. 2004. Cuantificación del CO₂ fijado por las principales especies forestales arbóreas en Andalucía. *Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*; 22-26 Nov., 2004. Madrid. CD-ROM: 15 pp

Nerea, E. 2003. *La huella ecológica de Donostia-San Sebastián. En el camino hacia el desarrollo sostenible*. Ayuntamiento de San Sebastián, Negociado de Medio Ambiente: 37 pp.
(http://www.ingurumena.net/Descarga/sostlocal/donosti_huellaeco.PDF; último acceso, julio/2004).

Oddone, C.N. y Granato, L. 2004. ¿Deudas de vida o deudas debidas?: la deuda ecológica que nos deben. En Segundo Encuentro Internacional sobre "Desarrollo sostenible y población"; *eumed.net. Universidad de Málaga*; 2-22 de julio de 2004. <http://www.eumed.net/eve/pedirinformes.php>

Oliveros, A., López, A. y Hernández, M. 2004. Bosques y cambio climático: la función de los bosques como sumideros de carbono y su contribución al cumplimiento del Protocolo de Kioto por parte de España. *Actas del VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*; 22-26 Nov., 2004. Madrid. CD-ROM: 20 pp

Pacholsky, J., 2003. *The ecological footprint of Berlin (Germany) for the year 2000*. Thesis for an MSC in Environmental Management at Stirling University, Scotland (under supervision of Dr. Ian Moffatt) (http://www.gdrc.org/uem/footprints/berlin-eco_footprint.doc; último acceso, agosto/2005).

Pearce, D. 1994. The Development alternative. In *The Economic Value of Biodiversity*. IUCN. Earthscan Publications Ltd. London. 1994.

Ramos-Martín, J. 2001. Historical analysis of energy intensity of Spain: from a "conventional view" to an "integrated assessment". *Population and Environment* (22): 281-313.

Ramos-Martín, J. 2003. Intensidad energética de la economía española: una perspectiva integrada. *Economía Industrial* (351): 59-72.

Real, G., 2005. Sostenibilidad medioambiental en el ámbito portuario. *Actas del XI Congreso de Tráfico Marítimo y Gestión Portuaria*. Cartagena, mayo/2005. Organismo Público Puertos del Estado: 19-30.

Rees, W. & Wackernagel, M. 1996. *Our ecological footprint. Reducing human impact on Earth*. New Society Publishers. Canadá: 160 pp.

Relea, F. y Prat, A. 1998. Aproximación de la huella ecológica de Barcelona: resumen de los cálculos y reflexiones sobre los resultados. *Comisión de Medio Ambiente y Servicios Urbanos del Ayuntamiento de Barcelona*: 10 pp.

Rosen, C. y otros. 2004. *Recursos Mundiales 2004. Decisiones para la Tierra: equilibrio, voz y poder*. ECOESPAÑA y Fundación Biodiversidad. Madrid: 315 pp.

Schmidt-Bleek, F. 1999. La necesidad de nuevos conceptos: Factor 10. En *Eco-eficiencia, los negocios en el próximo milenio*. Fundación Entorno. Madrid: 15-22.

Terradas, J. 1998. ¿Barcelona sostenible? de los años 70 al 2000. CREAM. Universidad Autónoma de Barcelona. Fórum Cívico Barcelona Sostenible. Barcelona, 9-7-1998: 3 pp.

Vegara, J.M. 1998. Medio ambiente, innovación y cambio tecnológico, una aproximación. *Actas del IV Congreso Nacional de Medio Ambiente*. 23-27 Nov., 1998. Madrid: 4 pp.

Wackernagel, M. 1998a. The Ecological Footprint of Santiago de Chile. *Local Environment* Vol. 3 (1): 7-25; (hoja de cálculo: <http://www.iclei.org/ICLEI/SANTIAGO.XLS>, último acceso, marzo/2005).

Wackernagel, M. 1998b. Hoja de cálculo de la huella ecológica de Italia; (<http://www.iclei.org/ICLEI/ef-ita.xls>; último acceso, marzo/2005).

Wackernagel, M., Dholakia, R., Deumling, D. and Richardson, D. 2000. Redefining Progress, Assess your Household's Ecological Footprintv 2.0, March 2000; (http://greatchange.org/ng-footprint-ef_household_evaluation.xls; último acceso, noviembre/2005).

Wackernagel, M. (y otros 10 autores), 2005a. *Europe 2005: The Ecological Footprint*. WWF European Policy Office, Brussels, Belgium; June, 2005: 26 pp.

Wackernagel, M., Monfreda Ch., Moran, D., Wermer, P., Goldfinger, S., Deumling, D. and Murray, M. 2005b. National Footprint and Biocapacity Accounts 2005: The underlying calculation method. *Global Footprint Network* (www.footprintnetwork.org; último acceso, diciembre/2005): 10 pp.