

Metodología para la determinación de la huella ecológica en el área de exhibiciones del Zoológico de Cali

Methodology to proceed to the calculation of ecological footprint of the exhibition areas at the Zoológico de Cali

Sory Torres Quintero

sory.torres@correo.icesi.edu.co

Andrés López Astudillo

alopez@icesi.edu.co

Marcela Moreno Duque

marcelamorenoduque@hotmail.com

Luis Ángel Restrepo Montes

lrestrepo03@hotmail.com

Universidad Icesi, Cali, Colombia

Fecha de recepción: Febrero 15 de 2012

Fecha de aceptación: Marzo 20 de 2012

Palabras clave

Huella ecológica; ecología industrial; ecoeficiencia; producción limpia; huella del agua; huella de carbono; impacto ambiental.

Key words

Ecological footprint; industrial ecology; eco-efficiency; clean production; water footprint; carbon footprint; environmental impact.

Colciencias **1**

Resumen

El diseño, desarrollo y cálculo de la Huella Ecológica es un concepto aceptado universalmente para medir y dimensionar el impacto de las actividades adelantadas por el hombre sobre los recursos naturales. Este artículo es el resultado de una investigación adelantada en el Zoológico de Cali, donde se diseñó y se evaluó una huella ecológica aplicada en el Área 2 donde se encuentran exhibidas las diferentes especies de animales. Se realizó entre los meses de Julio a Noviembre de 2009. Esta es la primera experiencia realizada en Colombia para dimensionar la huella ecológica en un Zoológico, considerando a este servicio como una actividad única y excepcional. El desarrollo de esta huella implicó el levantamiento de eco mapas, procesos operacionales de cada exhibición, evaluar los tipos de recursos que se consumen, las cantidades y los residuos que generan, para proceder al cálculo del impacto global. La importancia radica en presentar una herramienta fundamentada en huellas previas elaboradas por los autores referentes, la búsqueda minuciosa de la información necesaria para documentar la herramienta y el procedimiento para el cálculo de la huella.

Abstract

The design, development and calculation of the Ecological Footprint are a universally accepted concept to measure and dimension the impact of human activities on natural resources. This article is the result of the investigation conducted at the Zoo of Cali (Colombia), in which an instrument was designed, applied and validated to determine the ecological footprint of the exhibition areas the different species of animals between July and November 2009. This is the first experience in Colombia to measure the footprint in a Zoo, which regards this service as a unique and exceptional activity. The development of this trail involved the lifting of eco maps and operational processes of each exhibition, as well as evaluating the types of resources consumed and the amount of waste they generate, to proceed to the calculation of the overall impact. The article is accompanied by an Excel tool, available for download at the site of the magazine.

I. Introducción

El Zoológico de Cali se encuentra en proceso de mejoramiento continuo e implementación de un Sistema de Gestión Ambiental en sus instalaciones. Uno de los planes articulados es el cálculo de las diferentes huellas que deja su operación. Las huellas definidas son:

- » La huella ecológica, que determina el consumo de recursos naturales representados en una escala física, en hectáreas, y define el número de hectáreas equivalentes de suelo que se requiere para operar el parque en un determinado intervalo de tiempo. La huella calculada es de carácter demostrativo y permite establecer un indicador de gestión a través del tiempo, que oriente el sistema de gestión ambiental.
- » La huella del agua, que determina el consumo de recurso hídrico para la operación del parque. Se representa en una escala física correspondiente a un espejo de agua requerido para prestar el servicio en un determinado lapso de tiempo.
- » La huella de carbono, que determina la emisión de carbono, considerado como un gas de efecto invernadero, a través de las actividades de transformación de bienes o servicios en los diferentes equipos que opere. Para el volumen de CO₂ calculado se define una medida equivalente en hectáreas, que determina un indicador de gestión.

Este artículo presenta el diseño, desarrollo y cálculo de la huella ecológica que genera el Zoológico de Cali, en el Área 2, la zona donde se encuentran las 36 exhibiciones de especies animales, equivalente aproximadamente al 60% del área total del parque. Es el resultado de un trabajo de grado desarrollado por estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad Icesi, durante el segundo semestre del 2009, con el acompañamiento de un profesor-investigador, quien direccionó la elaboración de la herramienta para el respectivo cálculo.

En la primera parte se describen los fundamentos teóricos de la determinación de una huella ecológica, que sirven como marco conceptual; los referentes se inician en 1998 con el cálculo de la huella ecológica, siguen en 2000, cuando se desarrollan aplicaciones para el cálculo de la huella del agua, y se completan a partir del 2005, cuando se encuentran aplicaciones diseñadas y documentadas sobre el cálculo de la huella de carbono.

La relativamente reciente existencia de este contexto teórico sobre el cálculo de huellas refleja la importancia de adelantar éste tipo de estudios, que permiten sumar experiencias con el fin de documentar, a través de más diseños e implementaciones, nuevas prácticas para el cálculo de la huella de carbono en empresas relacionadas con servicios.

La segunda parte explica la metodología implementada para el levantamiento de la información requerida para realizar el cálculo de la huella. El parque zoológico presenta 36 exhibiciones, cada una con unas características propias y únicas, relacionadas con la especie que se encuentra exhibida, lo que exige un análisis individual y una posterior consolidación de resultados.

En la tercera parte se presentan los resultados a partir de la herramienta adaptada y diseñada para el cálculo de la huella ecológica; en esta sección se exponen las categorías

definidas para los insumos y residuos, las unidades de medida, los consumos anuales calculados por categoría, la productividad y la huella generada por tipo de ecosistema; al final se encuentran la huella de carbono generada y la contrahuella, en caso de presentarse factores positivos para ser tenidos en cuenta que disminuyan la huella inicial calculada.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones para futuras mediciones y cálculos de huella ecológica en la misma zona 2, como también en las demás áreas que permitan establecer la medición del Zoológico como un todo.

Cabe aclarar que, desde el segundo semestre del año 2009 hasta la fecha de publicación de este artículo, el parque zoológico ha sufrido transformaciones debido a la existencia de nuevas exhibiciones, el ciclo de vida de los animales y los procesos de mejoramiento continuo en cada exhibición, lo que ha hecho que se adelanten nuevas versiones sobre el cálculo de huella ecológica y se calculen huellas adicionales, como la de carbono y la de agua. Este artículo presenta la experiencia –y herramienta– que abre una serie de trabajos de investigación sobre el tema, y documenta el inicio de esta exploración teórica. Se espera en posteriores artículos presentar los adelantos efectuados, con herramientas fortalecidas y mejores mecanismos de medición.

II. Marco teórico sobre la huella ecológica

Durante los años ochenta se adelantaron estudios que permitieron determinar y generar alerta acerca de los límites que presentaban los recursos naturales, su consumo y el impacto que la actividad humana ejercía sobre ellos. El planteamiento del concepto de *desarrollo sostenible* como una responsabilidad sobre la calidad de vida de las generaciones futuras, a partir de los recursos naturales, para que tengan igualdad de condiciones frente a las disfrutadas por las generaciones actuales, permitieron en los noventa la realización de reuniones globales para analizar el futuro de la tierra y establecer compromisos de los países para mejorar las condiciones de vida de sus habitantes.

Estos compromisos fueron el motor para que diferentes países y organizaciones de distinta índole se dieran a la tarea de medir los daños ocasionados al medio ambiente a través de nuevas propuestas de pensamiento que representaran de manera concreta resultados, consecuencias y soluciones orientadoras (Hofer, 2009). Esta medición innovadora fue posible a través de una nueva herramienta denominada la Huella Ecológica.

El concepto de huella ecológica fue creado en 1996 por los investigadores William Rees y Mathis Wackernagel, quienes lo definieron como el área de territorio productivo o ecosistema acuático necesario para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una población definida, con un nivel de vida específico, donde sea que se encuentre esta área (Wackernagel & Rees, 1996). Posteriormente, Juan Luis Domenech definió la huella ecológica de una población como *el total de espacios de tierra y mar, ecológicamente productivos, necesarios para producir todos los recursos consumidos por esa población y para asimilar todos sus desechos* (Domenech, 2009, p.62).

El principio conceptual que da fundamento a la huella ecológica es que las personas

o entidades empresariales, al consumir los recursos naturales a los que tienen alcance, afectan los recursos de todo el planeta; si en un determinado tiempo los recursos a los que podían acceder se encuentran limitados, con una alta probabilidad, iniciarán el consumo de los recursos de otros lugares del mundo, por medio de la importación, generando una gran presión sobre la capacidad regeneradora del planeta Tierra, debilitándolo e incurriendo en un déficit ecológico (Badii, 2009).

Para calcular el consumo de los recursos requeridos por una población u organización empresarial se determinan las hectáreas de superficie destinadas a recursos que serán consumidos, como por ejemplo, las destinadas al cultivo de alimentos y a pastos para ganado; las destinadas para pesca, obtención de madera e insumos para la producción de papel y para la minería; y las ocupadas por edificios y carreteras. En contraste, se determinan las hectáreas que presentan bosques naturales, agua superficial y océanos, que servirán de sumideros para mitigar los impactos generados por las hectáreas destinadas al consumo. De esta forma se evalúan de manera integral los recursos consumidos y los sumideros, en términos de una superficie de territorio.

La huella ecológica, como concepto, ha sido aceptada por diferentes organizaciones y países, y es considerada un indicador global. Ha sido desarrollada por organizaciones como Global Footprint Network, que en su página en Internet presenta resultados e indicadores por niveles, desde una huella global hasta la huella personal, que constituyen herramientas populares que permiten realizar mediciones personales simples – aproximaciones con el propósito de generar conciencia sobre el impacto de las actividades de las personas en los recursos naturales–, y cálculos para determinar un ranking entre países que permita definir políticas para la protección de los recursos naturales (Global Footprint Network [GFN], 2003). A modo de ejemplo, la huella ecológica generada por 6.700 millones de habitantes en 2007 fue de 2.7, lo que en términos prácticos significa que para durante ese año, la humanidad consumió un equivalente en recursos naturales que corresponde a 2.7 planetas tierra.

Los resultados de esta herramienta se miden en hectáreas utilizadas anualmente, indicador que permite determinar si ese consumo está por encima de la productividad natural del territorio de referencia; este valor se conoce como déficit ecológico, y significa que el territorio estudiado consume más recursos de lo que se puede generar. Colombia registra una huella ecológica de 1.9.

III. Metodología para registro de la información requerida

A. El Zoológico de Cali

Los zoológicos alrededor del mundo se encuentran consolidando sus conciencias ecológicas y ambientales, creando políticas y sistemas de gestión; Zoológicos como el de Copenhague (Dinamarca) y Paignton (Reino Unido) fueron certificados con la ISO 14001, al igual que los de Carolina del Norte y Sao Paulo. Existen diferentes tipos de zoológicos (de Miguel, 2008), como muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de zoológicos (de Miguel, 2008).

Tipo	Características
Urbano – Desnaturalizado	Sin la adecuación ni el espacio mínimo requerido por los animales que alberga.
Urbano – Ambientado	Hábitats adecuados para que los animales suplan sus necesidades básicas, pero sin los espacios que deberían tener.
Reproducción de hábitats	Reproducen tal cual es el hábitat de la especie albergada y tiene el espacio suficiente para el animal.
Entorno natural local	Sólo albergan animales nativos del lugar y cuentan con un hábitat bien definido y recreado para cada especie animal.
Safari	Grandes extensiones de terreno cercado para cada especie animal. La visita del público se realiza usando carros.

El Zoológico de Cali es del tipo de reproducción de hábitats, por tanto, su prioridad es generar los espacios necesarios para garantizar las necesidades de las especies que alberga. Cuenta además con los siguientes centros de investigación y conservación: Centro de Investigación Zoológica de Cali (CREA), Centro de Atención de Fauna Silvestre (CAFS), el Centro de Investigación y Documentación del Zoológico (CIDZOO), la Unidad de Desarrollo Físico (UDF) y la Unidad de Bienestar Animal (UBA).

El Área 2, su área de exhibiciones, el objeto de análisis de este trabajo de investigación, está dividida en ocho secciones, que albergan alrededor de 2500 animales de 233 especies (Zoológico de Cali, 2012). La distribución se aprecia en la Figura 1, y corresponde a la siguiente lista:

1. Aviario, cóndor, flamencos, pelícanos, danta, águila real, biodiversidad (flamencos, patos y titíes cabeza blanca).
2. Jaguares, tatabros, oso negro, chigüiros, venado de cola blanca y pequeños felinos.
3. Suricatos, cebras y avestruz.
4. Nutria gigante, cusumbo, zorros, danta y chigüiros.
5. Titíes, oso hormiguero, venados, emús, llamas y ñandú.
6. Mariposario, nutrias y oso pardo.
7. Oso de anteojos, leones, primates y tigres.
8. Garzón soldado, tortugas, serpentario, antílopes, cocodrilos y babillas.

B. Metodología

Los enfoques de gestión aplicados en los zoológicos en relación con el medio ambiente, considerados como norma voluntaria de implementación, siguen las pautas suministradas por el Capítulo 8 de la Estrategia Mundial de la Conservación, la cual presenta una visión para todos los zoos y acuarios orientada hacia la sostenibilidad y la reducción de su huella ambiental, y el uso de los recursos naturales de una manera que no provoca su desaparición (Asociación Mundial de Zoos y Acuarios [WAZA], 2006).



Figura 1. Mapa del zoológico de Cali

El diseño de la metodología para registrar la información requerida y determinar la situación actual del parque en relación con el consumo de recursos naturales y la existencia de sumideros que permitan asimilar de manera positiva sus impactos, tuvo en cuenta los siguientes lineamientos:

- » Considerar los principios ambientales presentes en la legislación colombiana.
- » Interpretar los lineamientos definidos por Waza (2006) y aplicarlos al Zoológico de Cali.
- » Desarrollar una práctica aplicada a la estructura física del área de exhibiciones del parque.
- » Conocer en campo cada una de las exhibiciones del parque
- » Interpretar un ciclo operacional de cada exhibición para identificar los recursos necesarios e impactos.
- » Recabar la información necesaria de cada una de las exhibiciones.
- » Interpretar la información recopilada.
- » Diseñar la herramienta que permita calcular la huella ecológica del área de exhibiciones del parque.
- » Analizar los resultados obtenidos a partir de la herramienta diseñada.

La metodología propuesta orientó la investigación y determinó las actividades de los investigadores que exigieron el trabajo de campo continuo y la observación y toma de mediciones en cada una de las exhibiciones existentes. Debido al carácter cambiante y las múltiples variables que afectan el comportamiento de las exhibiciones, fue necesario elaborar perfiles de comportamiento en cada una de ellas. Se pudo constatar la dificultad para la toma de datos de los recursos analizados en cada exhibición.

La metodología implementada se estructuró a partir de la elaboración de un proceso global que determinó los lineamientos de la investigación (Ver Figura 2), lo que permitió abordar el proceso para el diseño de la herramienta específica requerida para el cálculo de la huella ecológica.

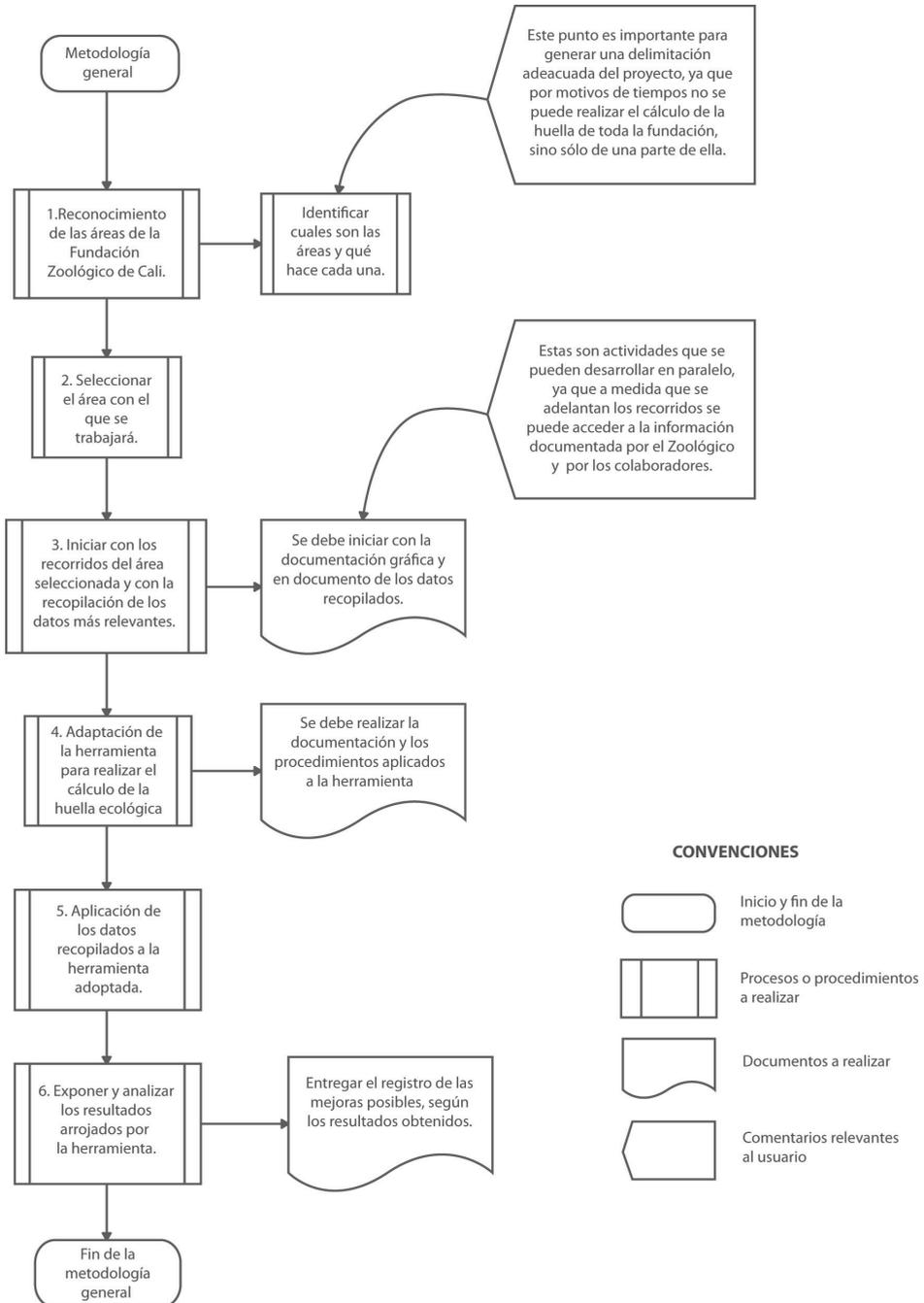


Figura 2. Metodología propuesta y aplicada.

Los ecomapas se utilizaron como un insumo para el diseño y la elaboración de diagramas de proceso para cada una de las exhibiciones, diagramas que consideran las actividades operacionales en términos de tareas, actividades, decisiones y recursos requeridos. Estos mapas se complementaron con tres unidades adicionales:

- » La Unidad de Bienestar Animal [UBA], que define el proceso de nutrición para cada especie –que determina la calidad y cantidad de alimentos necesarios– y la persona que ejerce el rol de cuidador, quien se capacita en el manejo de las dietas, la limpieza de las exhibiciones y la atención de la especie exhibida, factores cualitativos que determinan la calidad con la que se consumen los recursos respectivos.
- » La Unidad de Desarrollo Físico sobre el área de mantenimiento, que dispone de personas activas encargadas de responder a las contingencias sobre el arreglo de las exhibiciones, el diseño de nuevos elementos que las enriquecen y el manejo de recursos físicos para dicho mantenimiento.
- » El área administrativa, que lleva el control de los visitantes que se desplazan hasta las exhibiciones y es responsable de los recursos financieros necesarios para la consecución de los recursos físicos, alimentos, insumos para reparaciones locativas, etc.

La Figura 3 muestra el flujo de proceso diseñado para la exhibición de tigres. Diagramas como este se elaboraron para cada exhibición, generando así información estandarizada que permite realizar comparaciones y controles eficientes.

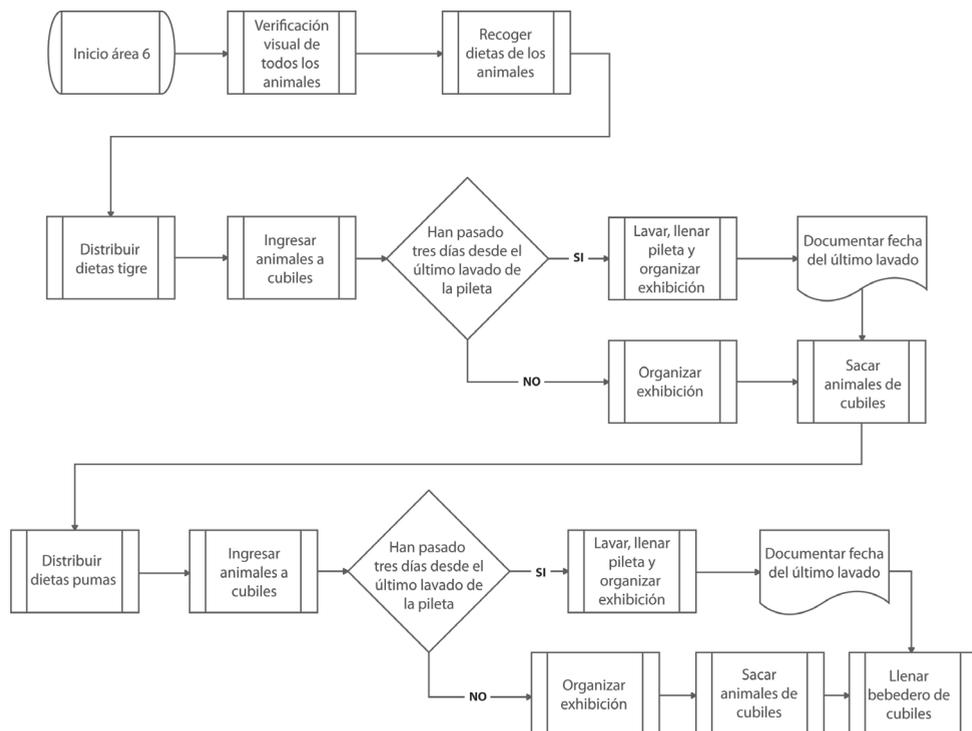


Figura 3. Proceso de operaciones diseñado por área- Área Tigres.

Los mapas con los flujos de procesos por área se convirtieron en los documentos base para analizar los recursos que se destinaban y abastecían a cada exhibición. Se tomaron en cuenta los recursos naturales (e.g., suelo, agua, aire, maderables), los perecederos, los alimentos, la energía, los marítimos (e.g., peces requeridos por nutrias), los bovinos para las carnes rojas, los cereales, las frutas y verduras para las dietas (se identificaron 25 tipos de frutas requeridas). Para reconocer y documentar los tipos de recursos requeridos, se realizó el levantamiento de información física a través de datos primarios tomados durante las visitas a las exhibiciones, de datos secundarios obtenidos a partir de órdenes de compra y pedidos de los recursos, registro del volumen y peso de los productos, y de información suministrada por los protocolos de las dietas que presentan las cantidades requeridas por cada especie. Esta información se organizó en una matriz que presenta la entrada de la materia prima requerida, el proceso de las cantidades suministradas y el residuo generado en cada una de las exhibiciones.

A medida que se adelantó el registro de los recursos utilizados por cada una de la áreas, se tomaron decisiones para beneficio del parque y del resultado total de la huella; por ejemplo, se determinó con mayor exactitud las cantidades de alimentos consumidas por los animales y los residuos generados, lo que permitió ajustar las dietas documentadas y ejercer un mejor control sobre los recursos. De la misma manera, se modificaron algunos insumos que provenían del exterior por productos locales, lo que disminuye su impacto al no tener que considerar el trayecto y el tipo de transporte. Esta primera etapa, desde la verificación del mapa disponible hasta el registro de los insumos necesarios por área, tomó aproximadamente seis meses de investigación continua.

Al concluir el desarrollo de las respectivas matrices de información correspondiente a las áreas y contar con el listado de insumos requeridos totales, se organizó una tabla en Excel con la información organizada, y se procedió a clasificar en categorías agregadas los insumos registrados. Estas categorías consolidan información individual y permiten registrar cantidades totales e ir filtrando los primeros datos encontrados. Por ejemplo, las 25 variedades de frutas encontradas se registraban bajo la categoría de frutas, dentro de una categoría denominada alimentos y esta dentro de una global denominada recursos agropecuarios.

Al disponer de las categorías de recursos clasificadas y totalizadas, se procedió a la búsqueda e identificación en la literatura disponible de los factores de equivalencia para poder determinar la respectiva huella ecológica. La asignación de estos factores se convierte en la fase crítica de la investigación porque a partir de este dato se consolida el cálculo de la huella. La Tabla 2 presenta los factores utilizados. Un factor de equivalencia *representa la productividad potencial media global de un área productiva, con relación a la productividad potencial global de todas las áreas bioproductivas. Un factor de 3.2 significa que tal categoría de tierra es 3.2 veces más productiva que la tierra bioproductiva media mundial* (Domenech, 2009, p.86).

Estos factores de equivalencia son aceptados a nivel global para el cálculo de una huella ecológica. Se elaboraron a partir de investigaciones realizadas para cada una de las categorías que definen el factor y son el resultado de un proceso largo y costoso. En

Tabla 2. Factores de equivalencia (Domenech, 2009)

Categoría	Factor de equivalencia
Energía fósil	1.13868813
Tierra cultivable	2.82187458
Pastos	0.54109723
Bosques	1.13868813
Terreno Construido	2.82187458

.....

él, la participación de investigadores en diferentes áreas y disciplinas, permite realizar un cálculo integral del factor. Los factores tomados de la literatura disponible presentan un error aceptado producto de ser generados con base en el análisis del comportamiento de las categorías, desarrollado en sus países o áreas geográficas de origen. En consecuencia, el cálculo realizado en el Zoológico de Cali considera este error, por lo que el total de huella arrojado corresponde a un valor aproximado. Por ejemplo, los factores aplicados en esta huella (Domenech, 2009) se originan en estudios realizados en Europa, donde la mayor parte de la energía utilizada proviene de recursos costosos, mientras que la energía usada en el zoológico se puede considerar limpia (proviene del agua) y económica. Un factor energético calculado en Europa, en consecuencia, es mayor respecto a su par calculado para el Zoológico de Cali.

A cada categoría de recursos encontrada, incluida en la matriz consolidada, se le asignaron los respectivos factores identificados. Para determinar la huella ecológica de cada categoría se multiplicó el total de cada una de ellas por el factor asignado. La suma de la huella en cada categoría determina la huella total del Área 2 del Zoológico de Cali, es decir, la cantidad de hectáreas requeridas para disponer de los recursos que requiere su operación.

C. Herramienta diseñada

La herramienta diseñada para determinar la huella ecológica en el Área 2 del Zoológico de Cali (Figura 4) representa un estudio descriptivo cuyo propósito es dar información sobre determinadas características de un lugar o territorio, con el fin de evaluar las consecuencias ambientales generadas, para tomar decisiones; a partir de este estudio, reflejado en la huella, se pueden generar estudios prescriptivos (Ministerio de Obras Públicas, 1993).

En el proceso de adaptación de la huella teórica seleccionada para diseñar una huella específica para el Área 2 del Zoológico de Cali se determinó: conservar las categorías gruesas para organizar la información obtenida, conservar las columnas para realizar los respectivos cálculos por las categorías seleccionadas, incluir los consumos de los insumos y los residuos que generan. La herramienta se construyó en Excel con una estructura dinámica que permite vincular valores de consumo una vez que se presentan cambios en el área de exhibiciones del zoológico. Se diseñó una plantilla original para generar cambios

en las ecuaciones y factores equivalentes para la fase de determinación de huella ecológica, con el fin de que se diera una mayor claridad del resultado de huella total final con respecto a las realidades de consumos y desperdicios que se puedan presentar.

Con el propósito de brindar mayor claridad a los usuarios de la herramienta, se incorporaron los colores amarillo y azul, el primero para entrar información variable, que permite el cálculo de huella ecológica, el segundo para los valores fijos que deben ser revisados periódicamente y permiten la cuantificación de las variables de la huella ecológica.

La herramienta presenta información organizada en columnas que reflejan indicadores de las variables seleccionadas, permite medir comportamientos cualitativos y cuantitativos de eventos colectivos ocurridos en el área de estudio, y permite tomar decisiones para el mejoramiento continuo y la construcción de una calidad de vida en términos de la capacidad para el logro de funcionamientos valiosos (Díaz & Escárcega, 2009). Las columnas son:

1. Categorías de los recursos: energía proveniente del servicio público y de combustibles, servicio telefónico fijo y móvil, mantenimiento, limpieza y vigilancia; desechos sólidos, incluyendo orgánicos; uso del suelo en hectáreas; recursos agropecuarios consumidos; y recursos forestales.

2. Unidades de medida (i.e., kw, m3, \$, % y Ha).

The image shows a detailed Excel spreadsheet for calculating the ecological footprint. The main table has columns for 'Categorías', 'Unidad de Medida', 'Consumo Anual', 'Producción', and 'Huella por Tipo de Ecosistema'. The 'Consumo Anual' column is further divided into 'Consumo', 'Producción', and 'Residuos'. The 'Huella por Tipo de Ecosistema' column includes 'Terrestre', 'Agua', 'Aire', 'Clima', 'Suelo', 'Biosfera', 'Circuito', 'Cultura', 'Energía', 'Materia', 'Papel', 'Tiempo', 'Vida', and 'Zona'. The spreadsheet includes various formulas and data points for different categories like 'Energía', 'Alimentos', and 'Recursos forestales'. At the bottom, there is a 'MATRIZ DE RESULTADOS' table and a 'Tabla de Conversión' section.

Unidad de Medida	Huella Ecológica (m²/año)	Huella Ecológica (ha/año)	Huella Ecológica (m²/año)	Huella Ecológica (ha/año)
Terrestre	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Agua	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Aire	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Clima	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Suelo	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Biosfera	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Circuito	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Cultura	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Energía	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Materia	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Papel	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Tiempo	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Vida	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700
Zona	1301,700	1301,700	1301,700	1301,700

Figura 4. Imagen de la hoja de cálculo construida

3. Consumo anual en unidades consumidas, el costo por unidad consumida, las unidades expresadas en toneladas, el factor de intensidad energética y las unidades expresadas en giga julios.

4. Productividad natural en ton x Ha/ año y la energética en giga julios x Ha / año.

5. La huella por tipo de ecosistema: energía fósil, tierra cultivable, pastos, bosque, terreno construido y mar.

6. Huella total.

7. Contra huella.

En la parte inferior de la herramienta se encuentran los datos de huella ecológica neta por tipo de ecosistema, los valores de cada una de las variables y la matriz de resultados.

La herramienta se encuentra disponible para consulta y descarga en el sitio web de la revista http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/sistemas_teleumatica)

IV. Aplicación de la herramienta

Como se indicó, el Zoológico de Cali adelanta una serie de actividades continuas en sus áreas de exhibición que requiere de una serie de recursos determinados y exige el desarrollo de unos procesos para generar sus servicios: calidad de vida para los animales exhibidos y confort para los visitantes. Estos recursos se adquieren de diferentes fuentes y proveedores externos, lo que implica su transporte y entrega en el punto de exhibición, actividades que generan un impacto sobre los recursos naturales, que al ser evaluados por la herramienta diseñada se interpretan en una medición relacionada con un área física (i.e. Ha), lo que hace obligatoria la transformación de los resultados obtenidos, para ser agrupados y observados bajo una única óptica del impacto ocasionado.

Por ejemplo, en el caso de los recursos agropecuarios requeridos por el área estudiada durante un año, se midieron los alimentos necesarios: la cantidad de productos cárnicos, cereales, harinas, pastas, arroz, pan, legumbres, lácteos y azúcares. Los insumos se compran a proveedores quienes los entregan en el parque, para luego, en el día a día, ser organizados en dietas destinadas a cada una de las exhibiciones. Posterior a la medición de los productos, se procedió a evaluar los sistemas de información con los inventarios que se adquirieron durante un año y el costo monetario de los mismos, y se alimentó la herramienta diseñada. Esta toma cada uno de los insumos y elabora un cálculo de equivalencia que se expresa en la productividad natural o energética; a continuación cada uno de estos recursos se multiplica por un factor de equivalencia representado según el tipo de ecosistema al cual está vinculado el recurso obtenido, es decir, de donde procede, para suplir las necesidades de la exhibición: energía fósil, tierra cultivable, pastos, bosque, terreno construido y mar.

El cruce de estos factores y las equivalencias genera un resultado de huella ecológica para cada uno de los productos o materias primas agropecuarias, que al consolidarse arroja el total de esta categoría: recurso agropecuario, la misma que tiene el valor más alto obtenido durante este ejercicio, 3.002.415 Ha, valor que representa la suma de las áreas requeridas para disponer de cada una de las materias primas durante un año, dispuestas en

las exhibiciones del parque, en términos del área de suelo. Otra lectura es que corresponde al área total que las exhibiciones del parque zoológico requieren para disponer de materias primas y generar el servicio al visitante según los factores equivalentes empleados.

Para los recursos forestales, considerados como: productos básicos de madera, estantes, artefactos y elementos de madera, papel cartón y otras manufacturas provenientes de madera, productos editoriales, prensa y gráficas, caucho y recurso hídrico, arrojó un total de 99.297 Ha, según los factores equivalentes empleados, sin considerar que gran parte de esta madera no requería de la aplicación de estos factores, debido a que procede del mismo parque, producto de las podas del jardín o la restauración de algunos árboles. Con este material es posible crear elementos o manufacturas necesarias en las exhibiciones (e.g., los terrarios de especies como el tití y las serpientes) y en la elaboración de bancos de descanso para los visitantes del parque.

Para el recurso energético, se tuvo en cuenta la electricidad que es suministrada por la empresa de servicio público de la ciudad (base hídrica) y los combustibles (i.e., gas, gasolina y diésel) empleados para la movilización de especies dentro del parque, como también materias primas requeridas. El total de esta categoría en la huella fue de 16.703 Ha.

Para la categoría de servicios, se tuvo en cuenta teléfonos fijos y móviles, que en este caso son radios de comunicación, la actividad de mantenimiento, limpieza y vigilancia. El resultado fue de 5.315 Ha.

La categoría desechos incluye sólidos como papel, cartón, aluminio, plásticos, chatarra, vidrio, orgánicos y escombros. En total se registró una huella de cero debido su reutilización en las actividades del parque (e.g. el plástico generado, el cartón y la chatarra, se ceden a una obra social; los desechos orgánicos se depositan en una *compostera* artesanal).

El área de exhibiciones del parque dispone de cinco hectáreas de las cuales dos son zonas de pastos, una es zona de arboles y el equivalente a las otras dos está construido sin lozas de cemento o arquitectura estilo habitacional, por lo que no genera impacto considerable de huella, y corresponde a los senderos necesarios y a los muros que evitan que la especie exhibida escape o genere algún riesgo a su calidad de vida o a la seguridad del visitante, las construcciones son acordes a la especie y el hábitad natural donde ellos deberían desarrollarse.

Los resultados totales son los siguientes, sumatoria de las categorías explicadas, aparece en la Tabla 3.

.....
Tabla 3. Matriz de resultados.

Huella ecológica bruta (Ha)	3.123.732
Huella ecológica bruta (Ton/CO ₂)	2.559.769
Huella ecológica neta (Ha)	3.123.713
Huella ecológica neta (Ton/CO ₂)	2.559.763

V. Resultados

La huella ecológica calculada en esta investigación para el Área 2 del Zoológico de Cali se puede considerar como: una huella adaptada a partir de huellas calculadas, que se encuentran en la literatura especializada sobre el tema, pues los factores aplicados fueron tomados de ella y son aceptados a nivel global; un bosquejo, una aproximación y un primer esfuerzo para adaptar la literatura disponible y realizar un ejercicio en tiempo real para conocer los pasos necesarios que permiten calcular una huella ecológica; una herramienta que permite dimensionar los impactos generados por los recursos requeridos para operar el Área 2, que genera la posibilidad de tomar acciones para controlar y reducir la huella calculada; y un proceso configurado debido a la realización y el cumplimiento de los pasos citados en la sección de metodología.

El aporte del proyecto se aprecia al comparar el instrumento desarrollado con herramientas disponibles en web. En una primera categoría se encuentran instrumentos como los publicados en el sitio web de Local Governments for Sustainability [ICLEI] (Wackernagel, 1998a; 1998b), enfocados, por la naturaleza de su misión institucional, en ciudades. Estas herramientas presentan cálculos elaborados con datos gruesos (e.g., el área total, la cantidad de zonas verdes, el consumo de recursos en términos de comercio y la cantidad de residuos que deposita una ciudad), que permiten estimar una huella gruesa, que brinda una referencia de impacto, muy útil para definir políticas, pero sin la posibilidad de lograr un cálculo detallado como el que se requiere en actividades específicas como las del zoológico.

Una segunda categoría de herramientas en Web es la de huellas personales (Wackernagel, Dholakia, Deumling, & Richardson, 2000), instrumentos que invitan a realizar cálculos sencillos a partir de los hábitos de consumo y estilo de vida de una persona o su familia, muy útiles para abrir espacios de reflexión, generar conciencia y motivar la toma de decisiones para reducir el impacto ambiental derivado de las actividades cotidianas de cada uno, con cálculos realizados a partir de categorías genéricas, válidas, pero sin los elementos necesarios para manejar las particularidades de actividades como las de un Zoológico.

Una tercera categoría, mucho más escasa, es la de cálculos especializados, como el que presenta el Zoológico de Victoria (Australia). Su huella ambiental (Zoo Victoria, 2012) muestra datos interesantes y se acerca, aunque sin alcanzarlo, al concepto de huella ecológica. El sitio muestra su declaración de principios y define cuatro medidores de impacto: consumo de recursos (electricidad, gas, agua y papel); producción/reciclaje de desechos, cantidad de productos y servicios verdes; y monto de gases de efecto invernadero generados por la operación. Un ejercicio interesante, que envía un claro mensaje de responsabilidad ambiental a la comunidad mundial, pero limitado como herramienta para un cálculo formal de su huella ecológica.

Un parámetro relevante, aunque no plenamente comparable, para el resultado obtenido es el trabajo realizado en el Zoo de Paignton en 2009 (Wang, 2010), que aprovecha los

avances en cuanto al cálculo de la huella de carbono. Este trabajo es consistente con el proceso adelantado: presenta una guía metodológica que inicia con la comprensión general de los principios relevantes para el cálculo de una huella de este tipo, estudia los métodos de cálculo, identifica los consumos en el zoo, calcula su huella y establece las conclusiones. Wang usa, como se ha hecho en el caso del Zoológico de Cali, un instrumento con categorías adaptadas del trabajo de Wackernagel et al., (2000), pero difiere en que toma en consideración no solo el área de exhibición, como se hizo en el Zoológico de Cali, sino el área total del parque. La comparación de resultados se muestra en la Tabla 4.

.....
Tabla 4. Comparación de resultados.

Aplicación	Resultado	Área total
Zoo de Paignton (Wang, 2010)	216 Gha	18 Ha
Zoológico de Cali	2.56 Gha	10 Ha

Conclusiones y recomendaciones

.....

La conclusión primaria de esta aplicación del instrumento es que, aunque el Zoológico de Cali no presenta una huella ecológica alta de acuerdo con los parámetros mundiales relacionados, es factible minimizarla a través de una estrategia para la obtención de los recursos agropecuarios que incluya, por ejemplo, que sus suministros no provengan de lugares distantes y que algunos se produzcan en el parque, y realizar proyectos de reducción del impacto ambiental con sus proveedores, para generar una contrahuella positiva. Es necesario evaluar la contrahuella positiva del parque a partir de los recursos que usa el parque y los residuos que reutiliza o recicla dentro de los mismos procesos desarrollados por las diferentes exhibiciones.

De la experiencia de elaboración de una herramienta particular para el cálculo de una huella ecológica, como aporte al proceso de investigación en esta área, surgen las siguientes lecciones:

- » Es conveniente estructurar el instrumento con base en los parámetros establecidos por Wackernagel y Ress (1996) y Domenech (2009). Al ser parámetros aplicados en huellas ecológicas implementadas en diferentes procesos productivos, usarlos contribuye a construir un canon que beneficia a la comunidad académica y otras partes interesadas en presentar actividades económicas comparables con estándares internacionales.
- » Los parámetros seleccionados para establecer el marco de trabajo del cálculo deben considerar información completa y profunda sobre las actividades que desarrolla la unidad económica objeto de estudio, por lo que es necesario disponer

de puertas abiertas para poder tomar información en la fuente, evidenciada e instrumentada, que permita aplicar el principio de veracidad sobre los recursos naturales que el sistema transforma y los impactos que genera.

- » Es necesario elaborar una metodología replicable, para ser aplicada de manera disciplinada, en la toma de la información sobre la operación de la unidad económica estudiada, asegurando la totalidad de las actividades analizadas.
- » Al no contar con factores de equivalencia para el cálculo de la huella ecológica propios, que reflejen las actividades desarrolladas por la unidad económica objeto de estudio, es conveniente tomar como referente los factores presentados por Wackernagel y Rees (1996) y Domenech (2009). Hacerlo permite establecer una huella ecológica aproximada. Estos factores se irán corrigiendo a medida que surjan factores de equivalencia, locales o regionales, como también factores aplicados a procesos productivos similares al objeto de estudio.
- » Es recomendable que la herramienta diseñada sea de carácter dinámica, presentada en una hoja de cálculo que permite evidenciar datos fijos, en comparación con aquellos que son variables, que pueden ser tomados en diferentes rangos de tiempo, de esta forma se contará con el cálculo de una huella de manera continua, lo que facilita el seguimiento a los planes de mejoramiento establecidos.
- » Es necesario disponer en la herramienta de un espacio para evaluar la contrahuella positiva de la unidad económica objeto de estudio, a partir de los recursos que usan y los residuos que se reutilizan o reciclan dentro de los mismos procesos desarrollados.
- » La huella ecológica de una unidad económica es dinámica, cambia a través del tiempo con cada decisión que se toma al modificar un recurso, insumo, materia prima, una tecnología o una operación interna. La herramienta, en consecuencia, debe ser flexible y adaptable a los cambios constantes de todo proceso de transformación o productivo
- » La herramienta diseñada debe ser de fácil comprensión, cumpliendo así con el principio de generar conciencia ecológica y sostenible para quienes reciban información generada por la misma. ⁵⁷

Referencias bibliográficas

- Asociación Mundial de Zoos y Acuarios [WAZA]. (2006). *Construyendo un futuro para la fauna salvaje. La estrategia mundial de los zoos y acuarios para la conservación*. Berna, Suiza: autor
- Badii, M. H. (2008). La huella ecológica y sustentabilidad. *Daena: International Journal of Good Conscience*. 3(1), 672-678.
- De Miguel, I (2008, Agosto 11).

- Bioparques, zoológicos y otras exposiciones de fauna viva*. Recuperado de: <http://www.biocarburante.com/bioparques-zoologicos-y-otras-exposiciones-de-fauna-viva/>
- Díaz R., & Escárcega, S. (2009). *Desarrollo sustentable, oportunidad para la vida*. Ciudad de México, México: McGraw Hill.
- Domenech J.L. (2009). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Madrid, España: Aenor.
- Global Footprint Network [GFN]. (2003). *Footprint calculator*. Recuperado de <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/calculators/>
- Hofer R. (2009). *Sustainable solutions for modern economies*, Reino Unido, RSC Publishing.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2009. *IPCC reports* [Web site]. Recuperado de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#T28mDGFc-f4
- Ministerio de obras públicas (1993). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Madrid, España: autor.
- Wackernagel, M. 1998a. The Ecological Footprint of Santiago de Chile. *Local Environment*, 3(1), 7-25. [Hoja de cálculo: <http://www.iclei.org/ICLEI/SANTIAGO.XLS>]
- Wackernagel, M. 1998b. *Hoja de cálculo de la huella ecológica de Italia*. Recuperado de: <http://www.iclei.org/ICLEI/ef-ita.xls>
- Wackernagel, M., Dholakia, R., Deumling, D. and Richardson, D. 2000. *Redefining Progress, Assess your Household's Ecological Footprintv 2.0*. [Hoja de cálculo]. Recuperado de http://greatchange.org/ng-footprint-ef-household_evaluation.xls
- Wackernagel, R., & Rees, W. (1996). *Our ecological footprint. Reducing human impact on Earth*. Gabriola Island, BC: New Society.
- Wang, X. 2010. *Measuring the ecological footprint of zoos by developing a calculation tool - Application on Paignton Zoo-UK* [Tesis de maestría]. UEA, Gran Bretaña. Recuperado de http://www.uea.ac.uk/env/all/teaching/eiaams/pdf_dissertations/2010/Wang%20Xiaozhou%20Dissertation.pdf
- Zoos Victoria (2012). *Our environmental footprint*. Recuperado de <http://www.zoo.org.au/Sustainability/Footprint>

Curriculum vitae

Sory Carola Torres Quintero

Licenciada en Biología y Química y Especialista en Ingeniería Sanitaria y Medio Ambiente de la Universidad del Valle (Cali). Especialista en Gerencia del Medio Ambiente de la Universidad Icesi (Cali). Se desempeña como docente de la Especialización en Gerencia del Medio Ambiente de la Universidad Icesi y es consultora independiente en proyectos ambientales.

Andrés López Astudillo

Profesor de tiempo completo y Director de las Especializaciones en Gerencia de Logística y Gerencia del Medio Ambiente de la Universidad Icesi (Cali). Administrador de Empresas con postgrados en Gerencia de Mercadeo, Gerencia de Producción, MBA de Icesi, y Maestría en Sociedad de la Información y el Conocimiento y en curso, Doctorado en Estrategia y Organización, Universidad de Valencia (España). Cuenta con más de 10 años de experiencia en el sector industrial y 17 en el sector académico.

Marcela Moreno Duque

Ingeniera industrial de la Universidad Icesi de Cali (2011). Como estudiante en desarrollo de su trabajo de grado, hizo parte del equipo investigador que trabajó en la determinación de la huella ecológica del Zoológico de Cali. Actualmente fortalece su inglés y espera iniciar en 2013 su especialización en Calidad y Medio Ambiente, sus áreas de interés profesional. Trabaja con Laboratorios Baxter (Cali) como Analista de Distribución.

Luis Ángel Restrepo

Ingeniero industrial de la Universidad Icesi de Cali (2011). Como estudiante en desarrollo de su trabajo de grado, hizo parte del equipo investigador que trabajó en la determinación de la huella ecológica del Zoológico de Cali. En 2013 iniciará su especialización en logística, su área de mayor interés profesional. Trabaja con Laboratorios Baxter (Cali) como *Complaint Handler Analyst* para Norte, Centro y Sur América.