

Huella hídrica en el proceso constructivo como indicador de sostenibilidad: un estudio de caso para Costa Rica

Water footprint in the construction process as an indicator of sustainability: a case study for Costa Rica

Alejandro Mora-González¹, Nidia Cruz-Zúñiga²


Fecha de recepción: 28 de mayo, 2023

Fecha de aprobación: 6 de octubre, 2023

Mora-González, A; Cruz-Zúñiga, N. Huella hídrica en el proceso constructivo como indicador de sostenibilidad: un estudio de caso para Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 37, Nº 2. Abril-Junio, 2024. Pág. 36-48.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v37i2.6684>

1 Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: alejandromoragonzalez@ucr.ac.cr
 <https://orcid.org/0009-0006-0143-9578>

2 Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: nidia.cruz@ucr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-4416-0626>

Palabras clave

Huella hídrica; declaración ambiental de producto; consumo de agua en procesos de construcción; construcción sostenible.

Resumen

El objetivo principal de la investigación fue determinar la factibilidad de utilizar la Huella Hídrica (HH) como indicador ambiental en el sector constructivo, para lo cual se realizó una cuantificación en campo de este indicador en cuatro proyectos residenciales de vivienda unifamiliar seleccionados en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica, viendo la construcción como un proceso productivo, y analizando los resultados por actividad y de forma global. Se calculó la huella azul directa en el proceso constructivo mediante mediciones en campo, realizando inspecciones semanales a cada proyecto, así se asignó un consumo de agua por actividad según el avance que se observó. Se estimó la huella hídrica indirecta (azul y verde) para los materiales, basándose en una serie de datos de uso de agua en la producción, consultados de las declaraciones ambientales disponibles de cada producto. Debido a la falta de datos disponibles en el contexto nacional, no se pudo estimar la HH gris. Se concluye que los resultados obtenidos podrían ser considerados como un primer avance del cálculo de la HH en la construcción. Para lograr un estándar a nivel nacional se requiere incentivar a los productores locales o importadores a desarrollar declaraciones ambientales de producto de los materiales de construcción y así generar una base de datos robusta sobre el consumo de agua en el proceso productivo de estos. Además, se requiere mejorar las prácticas de uso directo del agua en la construcción y la cuantificación del consumo como indicador de eficiencia de potenciales ahorros de agua.

Keywords

Water footprint; environmental product declaration; water consumption in construction processes; sustainable construction.

Abstract

The main objective of the research was to determine the feasibility of using the Water Footprint (WF) as an environmental indicator in the construction sector, for which a field quantification of this indicator was carried out in four selected single-family housing residential projects in the Greater Area. Metropolitana de Costa Rica, seeing construction as a productive process, and analyzing the results by activity and globally. The direct blueprint in the construction process was calculated through field measurements, carrying out weekly inspections of each project, thus assigning a water consumption per activity according to the progress that was observed. The indirect water footprint (blue and green) for the materials was estimated, based on a series of data on the use of water in production, consulted from the available environmental declarations of each product. Due to the lack of data available in the national context, gray HH could not be estimated. It is concluded that the results obtained could be considered as a first advance in the calculation of HH in the construction industry. To achieve a standard at the national level, it is necessary to encourage local producers or importers to develop environmental product declarations for construction materials and thus generate a robust database on water consumption in their production process. In addition, it is necessary to improve the practices of direct use of water in construction and the quantification of consumption as an indicator of efficiency in potential water savings.

Introducción

Según el Informe Estado de la Nación, en Costa Rica se aprovecha eficazmente el recurso hídrico, pero no se logran controlar los impactos negativos de su uso intensivo en distintos sectores de la industria productiva [1]. Según la norma INTE C171:2016, en Costa Rica el consumo de agua per cápita es de 1490 metros cúbicos anuales [2]; este valor se encuentra por encima del promedio mundial, el cual es de 1385 metros cúbicos por año [3], lo que demuestra que en Costa Rica se hace un uso excesivo del recurso. Para lograr un desarrollo sostenible a nivel país, se debe realizar un esfuerzo para disminuir el consumo de agua en todos los campos, incluido la construcción.

En este contexto, el sector de la construcción tiene un papel importante; ya que es responsable del 16 % del consumo mundial de agua [4]. En el país se han realizado esfuerzos para fomentar las buenas prácticas de consumo de este y otros recursos; por ejemplo, el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA), bajo el Programa Bandera Azul Ecológica (PBAE), creó una categoría exclusiva para construcción sostenible, donde uno de los objetivos es implementar medidas que permitan gestionar el consumo de agua, desde el proceso de diseño hasta la fase constructiva de las obras [5]. Asimismo, la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) mediante la guía de construcción sostenible, habla de la conservación del agua y eficiencia de su uso durante la operación de la edificación [6].

Pese a lo anterior, no existen suficientes estudios que den una idea de la magnitud del consumo de agua en la construcción en el país. Por esta razón, la presente investigación contribuye a la generación de conocimiento en la cuantificación del volumen de agua que se consume en el proceso productivo de proyectos constructivos, iniciando con el tipo de obra más común en el país: vivienda unifamiliar.

A nivel nacional, existe una metodología no oficial, recientemente estudiada, para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris [7]. Esta metodología se aplicó en dos proyectos de construcción en modalidad vertical durante su fase de obra gris y se obtuvo resultados de consumos de agua mensuales, según el porcentaje de avance de la obra gris y por nivel. Sin embargo; esta cuantificación no contempla el consumo de agua en toda la cadena de producción, dejando de lado un gran volumen de agua por estimar debido al proceso productivo de los materiales, entre otros.

La evaluación de la sostenibilidad del consumo de agua en la construcción a través de un indicador como la huella hídrica resulta prometedora para afrontar los retos de la gestión integrada del recurso hídrico y aportar al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Una de las metas del ODS 6 menciona que, para el año 2030, se busca aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua [8]. Debido a que el sector de la construcción es uno de los más importantes en la industria del país, es crucial efficientizar el consumo de agua en los procesos constructivos para contribuir a dicha meta. Aunado con ello, las metas del ODS 12 también enmarcan acciones en pro del uso eficiente de agua, con las que se busca lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales en general. Para lograrlo, se debe mejorar el consumo del recurso hídrico en todas las actividades productivas [9].

La sostenibilidad de la huella hídrica puede ser considerada desde una serie de puntos de vista diferentes, el más común es el geográfico, donde se debe analizar si la huella hídrica total dentro de una determinada área, que normalmente se limita a una cuenca hidrográfica. Para este primer caso, la huella no sería sostenible cuando; por ejemplo, el caudal mínimo ecológico o las normas de calidad ambiental en una zona de captación se ven afectados; o cuando, la asignación de agua en la zona de captación sea injusta o ineficiente [10]. El segundo es desde

el punto de vista de un proceso productivo, en cuyo caso la sostenibilidad de la HH depende de dos criterios: el primero de ellos sería que no es sostenible cuando dicho proceso se sitúa en un período específico del año en una zona de captación o cuenca específica, donde la huella hídrica total no es sostenible; o cuando no sea sostenible en sí misma (independientemente del contexto geográfico) cuando las huellas hídricas verde, azul o gris del proceso puedan reducirse o evitarse completamente con un coste social y económico aceptable [10]. Viendo la construcción como un producto, el flujo ideal para conseguir una HH sostenible se muestra esquemáticamente en la Figura 1.

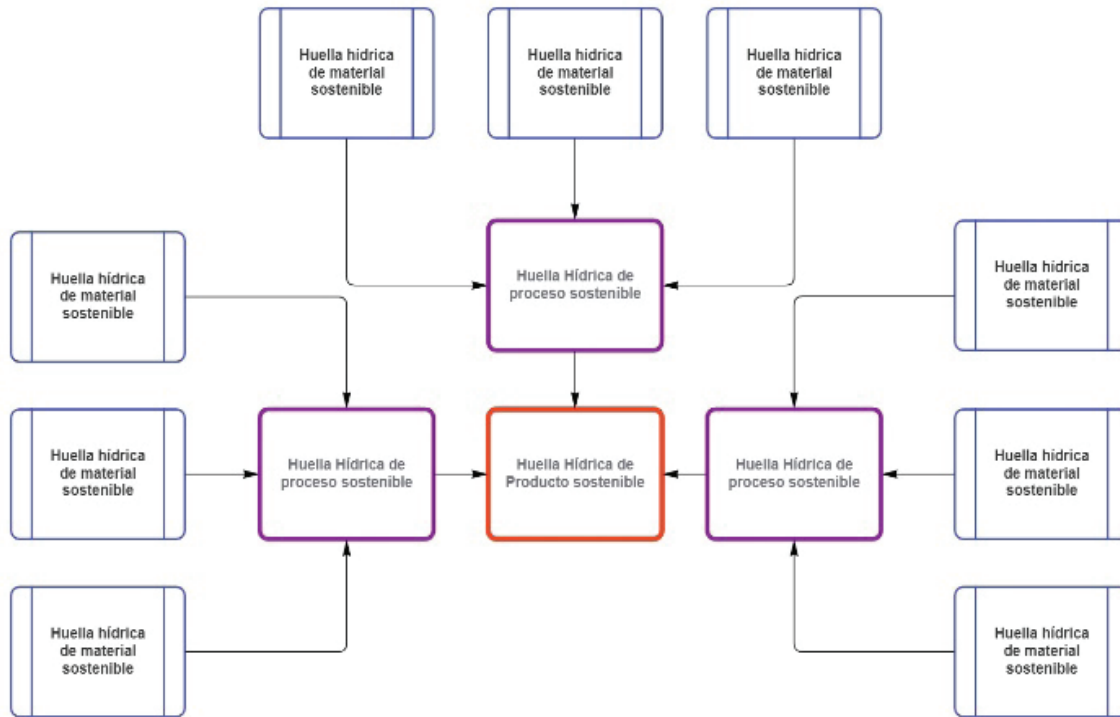


Figura 1. Esquema huella sostenible.

Dicho esto, la investigación plantea como hipótesis de trabajo que la huella hídrica directa e indirecta puede resultar un buen indicador de sostenibilidad en el consumo del recurso hídrico en la construcción, más si se registra por metro cuadrado construido; ya que esto permitiría un proceso más simple de comparación entre las obras.

Metodología

El proyecto se desarrolló en cuatro etapas. En la primera etapa una revisión bibliográfica amplia referente a la HH, la construcción sostenible y la teoría de la producción más limpia. Esta información se utilizó como pilar para establecer en fin de la investigación y luego comparar los resultados que se iban obteniendo en el proceso. En la segunda etapa se procedió a la selección de los proyectos a incluir en la investigación, para los que se verificó que cumplan con los criterios previamente definidos, entre los cuales están que fuera una vivienda unifamiliar estándar (no de lujo ni de interés social), que estuviera en la GAM, que no fuera parte de una construcción de casas en serie o condominios, que contara con medidor en la paja de agua. Luego se realizó una breve entrevista al encargado del proyecto con el fin de determinar el nivel de conocimiento del tema; ya que, esto afecta directamente en la investigación, y se realizó una visita de reconocimiento al lugar antes de que se iniciarán cada una de las obras. La tercera etapa correspondió a la recopilación de datos en campo para cálculo de la HH.

Para ello, la cuantificación en cada proyecto inició el día en el que se colocan los medidores de agua. La suma de los consumos semanales, medidos en el hidrómetro, corresponden a la HH azul directa del proyecto. Luego de esto se realizó una visita semanal a cada uno con el objetivo de registrar la lectura de la cantidad de agua que se ha consumido en el proceso constructivo. La visita se aprovechó para observar el avance de la obra, cuantificar la cantidad de materiales que han sido incluidos en el proyecto y documentar las prácticas de consumo del recurso hídrico. Finalmente, la cuarta etapa consistió en el cálculo de la HH, el análisis de resultados y el comparativo entre proyectos. La HH indirecta se estimó dependiendo de los materiales utilizados en la obra, para lo que se utilizaron datos de declaraciones ambientales de producto (EPD). Si el material utilizado no posee una EPD, se utilizó una de un material similar hasta donde fue posible encontrar datos. De las EPD se obtuvieron datos de huella azul y huella verde por unidad de material en la construcción y se creó una base de datos de huella hídrica azul y verde para materiales típicos. Aplicando estos factores a los materiales consumidos se pudo estimar una HH indirecta para cada proyecto. A la HH indirecta se le suma el valor de HH azul directa para obtener el valor de HH parcial estimada y se calculó una tasa de consumo de agua por metro cuadrado de construcción para utilizarse como indicador global para el sector de construcción.

Dentro de las limitaciones de la presente investigación está el que no se contempló medir como influye la variante mano de obra en la utilización del recurso hídrico, a pesar de que en campo si se evidenció que esta variable puede ser muy significativa. Por otro lado, debido a la falta de datos disponibles en el contexto nacional, no se pudo estimar la HH gris de los proyectos y por esta razón no se puede tener el dato de huella hídrica total. Finalmente, se aclara que la HH por acarreo de materiales desde los puntos de venta hasta el sitio de proyecto queda fuera del alcance de la investigación.

Dentro de las estimaciones también se contempló el consumo de energía y su impacto en la HH, para ello cada proyecto debe tener un medidor de energía con el fin de cuantificar el consumo en la construcción y asociarle la HH respectiva. Semanalmente se realizó una medición de este parámetro y se contempló la matriz energética del país. Dado que el 67.50% de la energía producida en Costa Rica es hidroeléctrica se debe considerar una HH asociada a la evaporación en las presas. Para estimar este aporte el dato del total de energía utilizado en el proyecto se multiplica por el porcentaje de energía hidroeléctrica y luego por el factor de HH azul.

Para el cálculo de la HH indirecta de cada proyecto, es necesario contar con la lista de materiales utilizados en cada obra, lo más detallada posible. En esta lista se debe reportar claramente las cantidades y las unidades de medición de cada material. En el apéndice se muestra una tabla resumen con los datos más relevantes utilizados para estimar la huella hídrica de cada material; estos datos fueron recopilados de diversas fuentes.

Por otro lado, con el objetivo de cuantificar la huella hídrica asociada al combustible utilizado en la obra se estableció un registro del equipo empleado en el proyecto y el tiempo que este se utilizó. Se consideró que el equipo típico que utiliza combustible en las construcciones de vivienda unifamiliar es una retroexcavadora, vagonetas, mezcladora de concreto y bomba de concreto. En campo se verificó la utilización de esta maquinaria y se estimó un registro de horas de uso.

Resultados

Huella hídrica azul directa en la obra

Comparando los datos de HH azul directa obtenidos en las visitas semanales a los cuatro proyectos se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 2. Las series de datos poseen una tendencia lineal con el intercepto en 0. El coeficiente de determinación en las

series está cerca de 1; lo que indica que el ajuste de las series de datos con las líneas de tendencia es adecuado. Además de eso, la constante en la ecuación que describe la línea de tendencia es similar en todos los proyectos. Se podrían utilizar las ecuaciones para estimar la huella hídrica azul directa de un proyecto constructivo de vivienda unifamiliar dependiendo de su duración en semanas; sin embargo, se requiere más estudios de este tipo para generar una base de datos suficientemente robusta para realizar estimaciones que reflejen la realidad de los proyectos constructivos con suficiente precisión. Los resultados parecen reflejar una tendencia lineal creciente entre el tiempo transcurrido y el consumo acumulado del agua, lo que podría indicar que sin importar el tipo de actividades constructivas que se estén llevando a cabo, el consumo parece tener pocas variaciones, lo cual podría ser un indicativo de que no se aplican medidas de ahorro de consumo en las actividades que demandan poca cantidad de agua. Con las visitas de campo se pudo detectar que esto podría deberse a costumbres de las personas en obra: mantener mangueras abiertas, reservorios siempre llenándose y en ocasiones desbordándose, limpieza utilizando solo agua en vez de barrer en seco, entre otros.

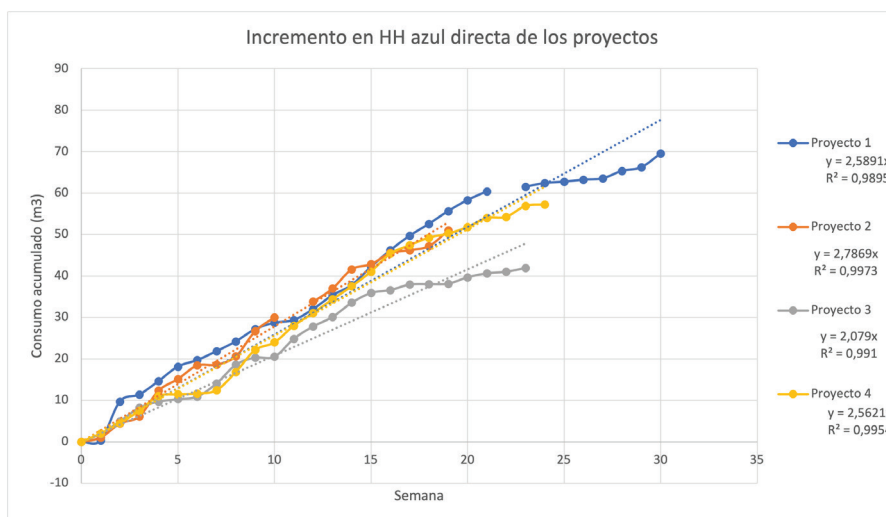


Figura 2. Huella hídrica azul directa de los proyectos.

Promediando los resultados de las cuatro series de datos obtenidas se obtiene la siguiente ecuación:

$$HH \text{ azul directa} = 2.50 T \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde T = periodo de duración del proyecto en semanas

Esta ecuación podría considerarse como un primer avance para estimar la HH directa en proyectos de construcción similares a los estudiados.

Huella hídrica azul y verde indirectas por materiales

En el cuadro 1 se muestra el valor de HH azul y verde indirecta asociado a los materiales utilizados en los cuatro proyectos. En dicho cuadro se puede observar que la utilización del PVC y materiales ferrosos como la varilla y malla electrosoldada poseen un fuerte impacto en el aumento de la HH azul directa. Adicionalmente, las maderas de formaleta tienen un factor alto de HH verde debido al riego que reciben durante el proceso de crecimiento. Por esta razón, la optimización del uso de estos materiales en el proceso constructivo y la búsqueda de materiales alternativos en el proceso de diseño generan una disminución importante en la HH.

Cuadro 1. Huella hídrica azul y verde en m³ asociada al consumo de materiales.

Material	Unidad	Factor de HH Azul	Factor de HH Verde	Proyecto 1			Proyecto 2			Proyecto 3			Proyecto 4		
				Cantidad	HH Azul m ³	HH Verde m ³	Cantidad	HH Azul m ³	HH Verde m ³	Cantidad	HH Azul m ³	HH Verde m ³	Cantidad	HH Azul m ³	HH Verde m ³
Cemento	ton	1.15	NA	20.75	23.86	NA	26.25	30.19	NA	19.69	22.64	NA	24.15	27.77	NA
Mortero de pega	ton	1.97	NA	14.00	27.58	NA	10.20	20.09	NA	11.48	22.62	NA	9.49	18.69	NA
Repello fino	ton	1.50	NA	7.88	11.82	NA	6.00	9.00	NA	4.86	7.29	NA	5.82	8.73	NA
Repello grueso	ton	1.15	NA	7.88	9.06	NA	6.00	6.90	NA	4.20	4.83	NA	5.58	6.42	NA
Arena	ton	2.26	NA	29.00	65.54	NA	25.02	56.55	NA	17.76	40.15	NA	21.52	48.63	NA
Piedra	ton	2.26	NA	29.60	66.90	NA	32.00	72.32	NA	24.32	54.96	NA	27.84	62.92	NA
Lastre	ton	2.26	NA	11.20	25.31	NA	8.80	19.89	NA	6.95	15.71	NA	8.45	19.09	NA
Bloques	m ³	1.04	NA	60.35	62.77	NA	34.13	35.49	NA	26.28	27.33	NA	31.06	32.30	NA
Varillas	ton	32.81	NA	2.95	96.72	NA	3.39	111.13	NA	3.08	101.13	NA	3.05	100.01	NA
Malla electrosoldada	ton	32.81	NA	0.39	12.76	NA	0.45	14.60	NA	0.36	11.97	NA	0.43	14.02	NA
Gypsum	m ²	0.02	NA	290.14	5.08	NA	193.49	3.39	NA	143.18	2.51	NA	191.56	3.35	NA
Furring	ml	15.20	NA	0.03	0.46	NA	0.02	0.30	NA	0.02	0.23	NA	0.02	0.29	NA
Perfiles galvanizados	ton	13.20	NA	0.82	10.88	NA	1.10	14.57	NA	0.91	11.95	NA	0.99	13.12	NA
Plywood	m ³	0.09	15.10	0.05	0.01	0.82	1.15	0.11	17.31	0.94	0.09	14.19	1.09	0.10	16.44
Láminas de zinc	m ²	0.24	NA	50.00	11.95	NA	NA	NA	NA	45.00	10.76	NA	49.50	11.83	NA
Teja asfáltica	m ²	0.24	NA	NA	NA	NA	120.00	28.68	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Vidrio	m ²	0.02	NA	52.50	1.05	NA	35.00	0.70	NA	29.75	0.60	NA	34.30	0.69	NA
Concreto premexclado	m ³	6.33	NA	42.00	265.86	NA	14.00	88.62	NA	10.08	63.81	NA	12.74	80.64	NA
Estereofón	m ³	0.34	NA	18.03	6.19	NA	9.58	3.29	NA	7.47	2.56	NA	8.82	3.02	NA
Madera formaleta	m ³	1.01	291.00	6.86	6.93	1995.39	4.57	4.62	1329.58	3.47	3.51	1010.48	4.52	4.57	1316.28
Energía	GJ	22.30	NA	NA	NA	NA	0.58	12.96	NA	0.51	11.37	NA	0.51	11.27	NA
PVC presión	kg	0.73	NA	32.03	23.44	NA	24.05	17.61	NA	18.76	13.73	NA	22.13	16.20	NA
PVC sin presión y conduit	kg	0.72	NA	352.28	252.23	NA	209.11	149.72	NA	156.83	112.29	NA	194.47	139.24	NA
Combustible	m ³	6.00	NA	1.08	6.45	NA	0.33	1.95	NA	0.29	1.76	NA	0.29	1.74	NA
Porcelanato	m ²	0.03	NA	NA	NA	NA	170.00	5.78	NA	122.40	4.16	NA	146.20	4.97	NA
Azulejo	m ²	0.03	NA	NA	NA	NA	70.00	1.89	NA	55.30	1.49	NA	67.90	1.83	NA
Cerámica	m ²	0.03	NA	NA	NA	NA	15.00	0.39	NA	11.25	0.29	NA	13.80	0.36	NA
Mortero adhesivo	ton	1.97	NA	NA	NA	NA	2.52	4.96	NA	1.99	3.92	NA	2.34	4.62	NA
Pintura	kg	0.04	NA	NA	NA	NA	372.00	13.76	NA	301.32	11.15	NA	353.40	13.08	NA
Pintura anticorrosiva	kg	0.11	NA	NA	NA	NA	12.00	1.32	NA	9.96	1.10	NA	11.88	1.31	NA

En el Cuadro 2 que se presenta a enseguida muestra los resultados de HH azul total y HH verde total por m² de construcción. Además, presenta los resultados de HH parcial estimada por m². Se debe recordar que en las limitaciones se indicó que en el contexto nacional no fue posible estimar la HH gris, por lo que no se logra obtener la HH total completa como indicador. Según lo que se observa de los datos obtenidos, la varianza en datos de Huella Hídrica azul directa por m² de construcción es cercana a 0; esto implica que la serie de datos obtenida es bien representada por el valor promedio. Lo que se puede deber a la relación lineal que hay entre el consumo directo y el tiempo de ejecución de la obra; dado que, para los proyectos de estudio, el tiempo de ejecución fue proporcional a los m² de construcción.

Por otra parte, los datos obtenidos de Huella Hídrica parcial por m² de construcción tienen una varianza alta. Esto se debe a que en este valor también se refleja la huella asociada a los materiales utilizados y estos datos son propios de cada proyecto. Por esta razón, se puede considerar que el valor de HH parcial por m² es más relevante para efectos de sostenibilidad debido a que incluye todo el proceso de producción.

Cuadro 2. HH azul directa y parcial estimada por m² de construcción

Parámetro reportado	Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4
Huella Hídrica Azul indirecta (m ³)	992.84	730.77	1346.88	565.89
Huella Hídrica Verde indirecta (m ³)	1996.20	1346.88	1024.67	1332.72
Huella Hídrica indirecta (m ³)	2989.04	2077.65	1590.56	1983.52
Huella Hídrica azul directa (m ³)	69.52	51.02	41.92	57.27
Huella Hídrica azul total (m ³)	1062.36	781.79	607.82	708.07
Huella Hídrica parcial (m ³)	3064.29	2132.83	1632.48	2040.79
Área de construcción (m ²)	187.00	180.35	135.55	173.13
Huella Hídrica azul directa por m ² de construcción (m ³ /m ²)	0.37	0.28	0.31	0.33
Huella Hídrica parcial por m ² de construcción (m ³ /m ²)	16.39	11.76	12.04	11.79
Promedio de datos de HH azul directa por m ² de construcción (m ³ /m ²)	0.32			
Varianza en datos de HH azul directa por m ² de construcción (m ³ /m ²)	0.00093			
Promedio de datos de HH parcial por m ² de construcción (m ³ /m ²)	12.64			
Varianza en datos de HH parcial por m ² de construcción (m ³ /m ²)	3.40			

Finalmente, en el Cuadro 3 se muestra un resumen de la HH azul directa y la HH parcial estimada para cada proyecto de estudio. En esta también se muestran los porcentajes de las HH parciales estimadas correspondientes a la HH azul directa, donde los porcentajes no superan el 2.81% y promedian un 2.51%, esto quiere decir que, en promedio, el 97.49% del total de agua utilizada en la cadena de producción no es representada como consumo directo en las obras. De ahí la importancia de realizar el cálculo de la HH parcial para proyectos constructivos como un indicador de sostenibilidad y no solamente tomar en cuenta los consumos medidos por los hidrómetros de cada proyecto.

Cuadro 3. Porcentaje de HH parcial equivalente a la HH azul directa.

Proyecto	HH azul directa m ³	HH parcial estimada m ³	Porcentaje de la HH parcial equivalente a la HH azul directa
1	69.52	3064.29	2.27
2	51.02	2132.83	2.39
3	41.92	1632.48	2.57
4	57.27	2040.79	2.81
Promedio	54.93	2217.60	2.51

Consideraciones finales

Estas primeras estimaciones de la HH parcial para el proceso constructivo de cuatro proyectos de vivienda unifamiliar en Costa Rica podrían considerarse como un primer avance para estandarizar el cálculo de la HH que busca impulsar el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA). Para los proyectos de estudio, se calculó la HH azul directa y se observó que esta es directamente proporcional a la duración del proyecto; además, los datos reflejaron que la tasa de crecimiento de la huella con el tiempo es lineal y se comporta de manera similar para todos los casos estudiados. Al calcular la tasa de consumo de HH azul directa por metro cuadrado de construcción en los proyectos se evidencia que el conjunto de datos tiene muy poca variación con respecto a la media; por lo tanto, ese dato podría ser un factor representativo para demostrar la sostenibilidad del consumo de agua en la ejecución de un proyecto. Sin embargo, se requiere realizar más estudios para estimar un parámetro de sostenibilidad más robusto. Adicionalmente, se requiere que en el país se trabaje en la generación de más datos de base por material, ya que este punto fue uno de los más complejos y con mayor incertidumbre de todo el proceso. Además se requiere fomentar más investigación para que se logre contar con información certera de la HH gris a nivel nacional.

Por otro lado se comprobó que para reducir la huella hídrica en los proyectos de construcción se debe realizar una gestión sostenible del agua. Pues aunque el consumo directo representa un porcentaje bajo de la totalidad del agua, se evidenció que no existen prácticas que propicien el ahorro del recurso. Por otra parte, se demostró que el 97.9% del agua que se consume en los proyectos está oculta en los procesos productivos de los materiales de construcción utilizados; por esta razón, se hace importante hacer el cálculo de la HH total para cuantificar el volumen de agua total utilizado en las obras y no solo los consumos directos. De la investigación realizada para obtener los factores para el cálculo de HH indirecta por material se concluye que las declaraciones ambientales de producto son la mejor herramienta disponible en el país en la que se muestra información ambiental de los procesos productivos; por ende, se debe incentivar a los productores nacionales a generar y actualizar este tipo de información.

En particular, de los factores para el cálculo de la HH azul indirecta se concluye que los procesos productivos del PVC y materiales ferrosos son los que generan el mayor consumo de agua; por esta razón, si se sustituyen dichos materiales, aunque sea parcialmente, por otros similar que necesiten una menor cantidad de agua en su proceso productivo se puede disminuir la HH indirecta del producto final. Este punto es relevante pues son materiales que se han generalizado mucho en las construcciones en el país, y su sustitución puede no ser tan factible y presentar gran reticencia por parte de los constructores.

Al finalizar la investigación se determinó que el cálculo de la HH azul directa de los proyectos se puede realizar con facilidad; ya que solo se necesita el dato de consumo de agua tomado de un hidrómetro que se coloque según las especificaciones técnicas de tal manera que no genere datos erróneos. Este equipo suele ser instalado en campo por la compañía que suministra el agua potable en la zona del proyecto, pero no es un uso generalizado en todo el país. Lo importante es que se instale desde el inicio de las obras, para llevar el control adecuado; ya que se conoce que en algunas ocasiones durante el proceso constructivo se aplica una tarifa plana y no se instalan medidores.

Por otro lado, se evidencio la relevancia de generar una base de datos robusta con factores obtenidos de DAP para la estimación de la HH indirecta. Estos datos constituyen el pilar para realizar una estimación de dicha huella y a la vez aportarían también en otros indicadores ambientales para el cálculo de una huella de carbono. Dicho esto, se puede aprovechar los esfuerzos a nivel país en el tema de cálculo de las huellas de carbono para consolidar los esfuerzos en medición de la sostenibilidad y a la vez introducir la huella hídrica como indicador adicional en la construcción.

Adicionalmente, se considera oportuno impulsar más fuertemente la teoría de producción más limpia aplicada a la construcción para disminuir la HH directa, pues se detectaron muchas malas prácticas que generan aumentos de consumo. Acciones simples como cerrar las llaves de chorro mientras no se estén utilizando, colocar una pistola a la manguera para controlar de una mejor forma el flujo del agua, revisar que las mangueras, conexiones, llaves y otros estén libres de fugas, recolectar agua de lluvia y utilizarla de manera eficiente, entre otros puede contribuir a bajar la HH directa de los proyectos. Esta teoría también puede utilizarse para disminuir la HH indirecta en el proyecto, mediante acciones como promover las compras de materiales locales para reducir consumo asignado a los viajes, buenas prácticas constructivas con el fin de reducir los desperdicios de material, regular el consumo de energía eléctrica en la construcción, utilizar madera de rápido crecimiento para disminuir la HH verde, entre otras.

Finalmente, se considera que introducir el concepto de HH en los sistemas de evaluación de sostenibilidad en la construcción a nivel nacional contribuiría con las metas país en el tema, ayudará al cumplimiento de los ODS e iniciaría una cultura de análisis integral de la sostenibilidad de los proyectos.

Apéndice 1

Datos de huella hídrica asociada a materiales de construcción

Para generar una base de datos de huella hídrica azul y verde válida, se analizaron declaraciones ambientales de producto (EDP) de distintos materiales de construcción, los cuales se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Base de datos de huella hídrica.

Material	Unidad	Para Huella hídrica expresada en m ³ de agua por unidad de material		Fuente
		Huella azul	Huella Verde	
Acero de refuerzo soldable	ton	32.81	NA	[11]
Acero de refuerzo no soldable	ton	32.72	NA	[11]
Bloques de concreto	m ³	1.040	NA	[12]
Madera blanda aserrada	m ³	1.01	291	[13]
Madera dura aserrada	m ³	1.17	927	[14]
Plywood	m ³	0.094	15.1	[15]
Agregados	ton	2.26	NA	[16]
PVC-U presión	kg	0.732-0.751	NA	[17]
PVC-O presión	kg	0.705-0.731	NA	[17]
PVC-M presión	kg	0.748-0.775	NA	[17]
PVC sin presión y conduit	kg	0.716-0.792	NA	[18]
Concreto premezclado	m ³	6.33	NA	[19]
Cemento industrial en saco	ton	1.15	NA	[20]
Cemento industrial a granel	ton	0.98	NA	[20]
Cemento fuerte en saco	ton	0.94	NA	[21]
Cemento fuerte a granel	ton	0.77	NA	[21]
Plyrock	ton	3.54	NA	[22]
Trims	ton	3.56	NA	[23]
Fibrolit	ton	3.80	NA	[24]
Plystone	ton	3.66	NA	[25]
Siding	ton	4.12	NA	[26]
Plydeck	ton	6.97	NA	[27]
Acero galvanizado, pintado y troquelado	ton	13.20	NA	[28]
Lámina TRD 91.5	ton	12.20	NA	[29]
Vigas y columnas de acero	ton	10.80	NA	[30]
Stud	ton	9.30	NA	[30]
Canoas metálicas	ton	11.40	NA	[30]
Metaldeck	ton	13.20	NA	[30]

Referencias

- [1] Programa Estado de la Nación. "Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible". 2018. San José, Costa Rica
- [2] Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. "Hogares ticos consumen más agua que resto de centroamericanos". 2018. <https://www.inteco.org/blog/noticias-2/hogares-ticos-consumen-mas-agua-que-resto-de-centroamericanos-146#:~:text=La%20%E2%80%9CGu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20el,utiliza%20en%20el%20servicio%20sanitario.>
- [3] Water Footprint Network. "Product Water Footprints". 2016. <https://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>
- [4] Universidad Católica. Santo Toribio de Mogrovejo. "APLICACIONES DEL AGUA EN LA INGENIERÍA CIVIL". 2014. Perú
- [5] Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). "Programa Bandera Azul Ecológico Categoría Construcción Sostenible". 2017. San José, Costa Rica
- [6] Cámara Costarricense de la Construcción (CCC). "Guía Construcción Sostenible". 2016. San José, Costa Rica
- [7] Castillo, J. "Metodología para el control y análisis del consumo de agua durante la fase constructiva de obra gris". 2021. (Trabajo final de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Costa Rica.
- [8] Naciones Unidas. (UN). "Objetivo 6 del Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos". Nueva York, Estados Unidos. 2021. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- [9] Naciones Unidas. (UN). (2021). "Objetivo 12 del Desarrollo Sostenible: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenible". Nueva York, Estados Unidos. 2021. <https://www.un.org/sustainabledevelopment>
- [10] Hoekstra, A. Chapagain, A. Aldaya, M. y Mekonnen, M. "Manual de evaluación de huella hídrica". Londres, Inglaterra, Washington DC, Estados Unidos. 2011. https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf
- [11] CAP Acero. "Steel reinforcing bar (weldable and nonweldable)". 2020. Santiago, Chile
- [12] ASTM. "NORMAL-WEIGHT AND LIGHT-WEIGHT CONCRETE MASONRY UNITS AS MANUFACTURED BY MEMBERS OF THE CANADIAN CONCRETE MASONRY PRODUCERS ASSOCIATION (CCMPA)". 2016. Ontario, Canada.
- [13] Wood Solutions design and build. "Environmental Product Declaration Softwood Timber". 2020. Australia
- [14] Wood Solutions design and build. "Environmental Product Declaration Hardwood Timber". 2020. Australia.
- [15] Wood Solutions design and build. "Environmental Product Declaration Plywood Timber". 2020. Australia.
- [16] Holcim. "Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 Average Aggregate". 2020. Rumania
- [17] Iplex Pipelines. "ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION PVC PRESSURE PIPES FOR BUILDING APPLICATIONS". 2020. Australia.
- [18] Iplex Pipelines. "ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION PVC NON PRESSURE PIPES FOR BUILDING APPLICATIONS". 2020. Australia.
- [19] Cementos Bio Bio. (CBB). "Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025 and EN 15804 for: Ready-Mix Concrete G025 (10)-20-12-28-B". 2018. Santiago, Chile.
- [20] Holcim. "Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 Cemento industrial". 2019. Cartago, Costa Rica
- [21] Holcim. "Environmental Product Declaration in accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 Cemento fuerte". 2019. Cartago, Costa Rica.
- [22] Plycem. "Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Plyrock". 2020. Costa Rica.
- [23] Plycem. "Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Trims". 2020. Costa Rica.
- [24] Plycem. "Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Fibrolit". 2020. Costa Rica.

- [25] Plycem. “Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Plystone”. 2020. Costa Rica.
- [26] Plycem. “Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Siding”. 2020. Costa Rica.
- [27] Plycem. “Declaración Ambiental de Producto De acuerdo con ISO 14025 y EN 15804:2012+A1 para: Siding”. 2020. Costa Rica.
- [28] Ternium México. “Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 for Galvanized, painted and die rolling steel manufactured”. 2019. México
- [29] Ternium México. “Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 for Ternium TRD 91.5 Roof Deck”. 2019. México.
- [30] Ternium México. “Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025:2006 and EN 15804:2012 for Steel Building Structure Products manufactured”. 2019. México