



HUELLA HÍDRICA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE 2018

Julio 2020

Introducción

En un contexto de cambio climático donde a nivel internacional científicos y líderes mundiales se encuentran desarrollando distintos planes para su mitigación y precisa adaptación, surgen diferentes métodos mediante los cuales cuantificar el impacto del estilo de vida que hasta ahora hemos llevado como humanidad y que nos ha traído hasta estas situaciones extremas como sequías extendidas, derretimiento de hielos, altas temperaturas e inundaciones. Uno de estos métodos es la huella hídrica, la cual nace como concepto en 2002 con el profesor Arjen Hoekstra, quien trabajó este tema en la UNESCO-IHE dejando varias referencias que han sido de utilidad a nivel mundial.

La Huella Hídrica propone ser un indicador que cuantifica el consumo de agua dulce de forma directa e indirecta por parte de algún ente ya sea nación, empresa, organización o incluso persona. Para esto Hoekstra propone hacer una división en distintos tipos de huella hídrica, tales como:

- Huella Hídrica Azul: la que mide el consumo de agua dulce superficial y subterránea
- Huella Hídrica Verde: la que mide el agua de lluvia que es evaporada o que no llega a escorrentías ya que ha sido consumida
- Huella Hídrica Gris: que mide el agua dulce que ha sido contaminada respecto de algún valor de referencia previo propio de la masa de agua a la que está siendo reintegrada, producto de algún uso o proceso

En esta primera versión de la cuantificación de la Huella Hídrica de la institución se espera abordar

Metodología

Como se había mencionado anteriormente, la Huella Hídrica tiene varias dimensiones, considera su consumo directo e indirecto y está dividida para tres *tipos de usos consuntivos*. Cabe destacar que puede tener tanto consumo directo como consumo indirecto de todos los tipos de huella (azul, verde y gris).

Hoekstra, para el cálculo de la Huella Hídrica propone los siguientes cálculos:

$$\text{Huella Hídrica} = \text{Huella Hídrica Azul} + \text{Huella Hídrica Verde} + \text{Huella Hídrica Gris} \quad (1)$$

Para el cálculo de la Huella Hídrica Azul se tiene el siguiente modelo:

$$\text{HHA} = \text{Evapotranspiración de Agua Azul} + \text{Incorporación de Agua Azul} + \text{Flujo de retorno perdido} \quad (2)$$

Para el cálculo de la Huella Hídrica Verde se tiene:

$$\text{HHV} = \text{Evapotranspiración de Agua Verde} + \text{Incorporación de Agua Verde} \quad (3)$$

Para el cálculo de la Huella Hídrica Gris se tiene:

$$\text{HHG} = \text{Volumen de agua reincorporado} * (c.\text{efluente} - c.\text{actual}) / (c.\text{máxima} - c.\text{natural}) \quad (4)$$



Donde “c” corresponde a contaminación.

Todas estas fórmulas fueron recogidas del Water Footprint Assessment Manual (Hoekstra A, Chapagain A, Aldaya M & Mekonnen M, 2011). Sin embargo, cabe destacar que ya que estas fórmulas están dispuestas de manera general para que se puedan aplicar a diversos objetos de estudio (como un producto o toda una organización) es que se ajustaron las fórmulas que se han presentado anteriormente de manera que pudieran contemplar el recurso hídrico en función del uso que se le da dentro de la institución.

Para efectos del estudio hecho a la Pontificia Universidad Católica de Chile se consideraron los cinco campus. Se trató de hacer un símil entre las actividades que se cuantificarían utilizando para ello las actividades que actualmente son medidas por la Huella de Carbono, con el fin de unificar elementos. Esto considera los aspectos:

Directo:

- Consumo de agua por funcionamiento de la universidad (i.e. agua dulce de consumo cotidiano)
- Registro de aguas de lluvia y evapotranspiración de todas las áreas verdes de la universidad

Indirecto:

- Consumo por concepto de utilización de la red eléctrica
- Consumo por concepto de compra de papel (como la adquisición más representativa del funcionamiento de la universidad)
- Consumo por concepto de transporte de la comunidad, considerando tanto el transporte diario de la comunidad como viajes por estudios/trabajo
- Residuos
- Construcción¹
- Alimentación²

Sin embargo, algunos de estos aspectos no fueron considerados:

- Transporte de la comunidad: Se descartó su cuantificación debido a su bajo impacto, de igual manera se tomó en consideración la respuesta entregada por los autores del manual quienes se refieren a este aspecto como "Transport, however, does not consume a significant amount of freshwater. We recommend including the water footprint of transport only when biofuels are used as the source of energy."³

¹ Está considerado para ser parte del cálculo de la huella de carbono institucional en un futuro.

² Está considerado para ser parte del cálculo de la huella de carbono institucional en un futuro.

³

<https://books.google.cl/books?id=jWAsDwAAQBAJ&pg=PT154&dq=Transport,+however,+does+not+consume+a+significant+amount+of+freshwater.+We+recommend+including+the+water+footprint+of+transport+only+when+biofuels+are+used&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjwpMOek4rqAhVCK7kGHVuxC30Q6AEIJzAA#v=onepage&q=Transport%2C%20however%2C%20does%20not%20consume%20a%20significant%20amount%20of%20freshwater.%20We%20recommend>



- Residuos: Debido a que no se encontraron referencias en los estudios realizados en la Water Footprint Network, se descartó su cuantificación, al no encontrarse referencias no es posible hacer una estimación utilizando factores, ya que estos últimos no existen.
- Construcción: Al igual que en el caso de residuos, no se encontraron referencias en la Water Footprint Network respecto al proceso de construcción, sin embargo, existen algunos estudios referentes a los materiales de construcción. Respecto del funcionamiento de los edificios este aspecto del impacto hídrico se tiene en consideración de forma Directa (Huella Azul por Consumo de agua potable).
- Alimentación: Si bien existen varios estudios disponibles en la Water Footprint Network e incluso existe un estudio ajustado al caso de Chile en la producción de alimentos, para esta primera versión de la cuantificación de la Huella Hídrica no se han podido recabar los datos de alimentos consumidos por la comunidad UC.⁴

Finalmente, la Huella Hídrica UC 2018 será cuantificada de la siguiente manera:

- Huella Azul Directa: Consumo de agua potable por funcionamiento de la universidad
- Huella Verde Directa: Lluvias en áreas verdes de la universidad
- Huella Gris Directa: Consumo de agua potable por funcionamiento de la universidad
- Huella Hídrica Indirecta:
 - Papel, dado que se utiliza un “factor de conversión” se entiende que éste considera todos los tipos de huella de este ítem (azul, verde y gris).
 - Red eléctrica, cuyo “factor de conversión” depende de la matriz eléctrica de Chile.

Para el cálculo de la Evapotranspiración, necesaria para los cálculos de la Huella Verde, se utilizó la información construida en el Balance Hídrico de San Joaquín. En este se utiliza el método de Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración de referencia en base al documento “Evapotranspiración de cultivo” de la FAO, la que es ajustada con un coeficiente de paisajismo en base a la metodología descrita en “A guide to estimating irrigation water needs of landscape planting in California” desarrollada por la Universidad de California. Esto último se aplicó en función de la información descrita en la “Caracterización Territorial del Campus San Joaquín” del año 2015.

Los principales supuestos se detallan a continuación:

- Para la Huella Azul Directa se utiliza un Coeficiente de Recuperación de 0,8 obtenido a partir de lo que dictamina el Decreto 90.
- Para la Huella Verde Directa se utiliza información de precipitación provista por la Estación Climatológica Quinta Normal para los campus ubicados en Santiago y la Estación Pluviométrica Flor del Lago para el campus Villarrica, privilegiando el criterio de cercanía y similitud geográfica para su selección.
- Para la Huella Gris Directa se utilizaron los criterios dispuestos por los Decretos 609 (para recuperación de las aguas por alcantarillado) y 90 (para máximo permitido de contaminante DBO5 en las aguas residuales).

[%20including%20the%20water%20footprint%20of%20transport%20only%20when%20biofuels%20are%20used&f=alse](#)

⁴ Es ideal que para una segunda cuantificación se pueda determinar una metodología de cuantificación y recopilación de información



También se utilizó el supuesto de que al ser agua potable el afluente, el valor de DBO5 sería cero, y que, ya que el efluente es tratado por los servicios de sanitización de agua (Aguas Andinas en Santiago y Aguas Araucanía en Villarrica), los niveles de contaminación por DBO5 corresponderían al máximo permitido por ley (SISS).

- En esta oportunidad no fueron considerados residuos líquidos peligrosos que pudieran ser desechados al alcantarillado (afectando directamente la Huella Gris) provenientes de laboratorios ya que actualmente no se cuenta con esta información, a pesar de que se sabe que es una posible práctica también se sabe que existen protocolos de neutralización de estos residuos líquidos.

Resultados

Huella Azul Directa

La fórmula utilizada para calcular la huella por consumo de agua potable será:

$$\text{Huella Azul} = \text{Afluente} - \text{Efluente} \quad (5)$$

Debido a que no se conocen los volúmenes necesarios para aplicar la fórmula (2), se puede simplificar esta expresión a la anteriormente mostrada (5).

$$\text{Huella Azul} = \text{Incorporaciones al producto} = \text{Agua consumida} - \text{Agua consumida que retorna a la matriz} \quad (6)$$

En la fórmula (6) se puede entender la lógica detrás de la simplificación de los volúmenes a calcular. Finalmente la expresión queda como sigue:

$$\text{Huella Azul} = \text{Agua consumida} - \text{Factor de Recuperación} * \text{Agua consumida} = \text{Agua consumida} * (1 - 0,8) \quad (7)$$

El resultado es una Huella Azul Directa de 175.268,40 m³, esta huella corresponde al total de agua potable consumida de 876.342 m³ para los cinco campus.

Huella Verde Directa

Para cuantificar esta huella no se necesitó simplificar la fórmula original (3). Como se explicó anteriormente, los ítems de evapotranspiración e incorporación de agua verde fueron identificados como evapotranspiración y lluvias, respectivamente. Obteniéndose así una Huella Verde Directa de 250.962,55 m³, donde las aguas lluvias representan el 52,83% con 132.581,15 m³ y el restante por evapotranspiración con 118.381,41 m³.

Huella Gris Directa

Una vez más para este cálculo no hizo falta una modificación de la fórmula (4). Cabe destacar que el Volumen de agua reincorporado corresponde a:

$$\text{Agua consumida} * \text{Factor de Recuperación}$$



Esto debido a que el Factor de recuperación precisamente determina la cantidad de agua potable que es reincorporada como residuo en el alcantarillado y debe ser tratada.

Se obtiene así una Huella Hídrica Gris Directa de 817.919,20 m³, al igual que con la Huella Azul, esto es representativo del consumo total de agua potable para los cinco campus.

Huella de Papel Indirecta

Debido a la reducida disponibilidad de información que permitiera una cuantificación utilizando los criterios presentados para las huellas directas, en este ítem de huella indirecta, como se dijo anteriormente, la metodología incorporó información ya procesada para papel. Donde el factor de conversión⁵ utilizado fue 674 m³ por tonelada de papel blanco promedio (para imprimir o escribir en él) obtenido de un bosque de pino de bioma templado. Con esto se obtuvo un total de 62.210,20 m³ por concepto de huella hídrica para el papel consumido (92,3 t) por la universidad en 2018.

Huella de Electricidad

Al igual que en el caso de la Huella de Papel Indirecta, para la cuantificar la Huella de Electricidad se utilizó un factor de conversión para cada tipo de generación de energía presente en la matriz de Chile. Los factores de conversión⁶ al no existir específicamente para Chile, se utilizaron los presentes en Water Footprint Network. Para poder utilizar estos factores de conversión, se debió desagregar el consumo de la universidad según indica la proporción de generación para cada mes del año 2018. Esto se puede ver en la siguiente tabla:

Composición	FC [m ³ /KWh]		Consumo [m ³]
55,28%	Térmica	0,001	21.214,02
30,44%	Hídrica	0,079	654.705,72
5,13%	Solar	0	0,00
6,68%	Eólica	0,001	1.957,62
2,19%	Biomasa	0,220	130.695,12
0,28%	Geotérmica	0	0,00
		Total	808.572,48

Tabla 1: Proporción de presencia de cada tipo de generación de energía para el año 2018 para la matriz energética Chilena, aplicado al consumo total eléctrico de la UC. Elaboración propia.

Con esto se tiene, precisamente, que la Huella Hídrica Indirecta por concepto de Electricidad es de 808.572,48 m³.

⁵ <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-011-9942-7/tables/8>

⁶

<https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Gerbens-Hoekstra-VanderMeer-2008-waterfootprint-bioenergy.pdf>



Huella Hídrica UC 2018

Con todos los datos presentados anteriormente la Huella Hídrica total de la institución queda como se muestra en la siguiente tabla:

Huella Hídrica Total [m ³]	
Huella azul directa	175.268,40
Huella verde directa	250.962,55
Huella gris directa	817.919,20
Huella papel	62.210,20
Huella electricidad	808.572,48
	2.114.932,83

Tabla 2: Resumen de los componentes de la Huella Hídrica Institucional 2018. Elaboración propia.

Esto arroja que la Huella Hídrica Total Institucional es de 2.114.932,83 m³, por lo tanto, la huella per cápita de la UC es de 55,02 m³.

Conclusiones y recomendaciones

En este primer acercamiento a entender la metodología de cuantificación de la Huella Hídrica se han presentado varios desafíos desde aplicar el método en el contexto de una institución de educación superior hasta encontrar la información necesaria (y que estuviera disponible) para llegar a los resultados presentados.

Bajo este contexto el estudio se limitó bastante a las ideas originales de hacer un símil con los aspectos estudiados en la Huella de Carbono, principalmente por la dificultad de obtener la información necesaria para realizar los cálculos, de igual manera hay algunos aspectos que son fuertemente considerados en la Huella de Carbono que no tienen impacto significativo en la Huella Hídrica, como el transporte.

Respecto a los resultados se puede ver que el mayor aporte a la Huella Hídrica se encuentra dado por dos componentes Huella Gris con un 38,67% y la Huella por Electricidad con un 38,23%. Una de las primeras razones que se presentan para que estos sean los ítems más fuertes es el componente contaminación. En la Huella Gris precisamente se mide la contaminación con la que viene el agua una vez que es reincorporada a la masa de agua matriz (en Santiago algún canal o río, en Villarrica el lago). En el caso de de la Electricidad la matriz energética chilena es altamente carbono dependiente y bastante invasiva en términos de ecosistemas, se puede ver que gran porcentaje de la energía proviene de dos fuentes la Térmica (engloba al carbón, petróleo diesel y gas natural) con 55,28% y la Hídrica con 30,44%; donde las primeras son fuertemente contaminantes y la segunda es hidointensiva. Aún así se puede ver que el 58,83% de la Huella Hídrica de la UC proviene de la dimensión Directa, por lo tanto, existe la posibilidad de tomar acciones que permitan reducir el impacto en las masas de agua que nos dan vida. Si



bien el consumo de agua potable representado en la Huella Azul tiene un impacto relativamente pequeño, su contraparte la Huella Gris, es consecuencia del mismo consumo y es aquí donde se deben concentrar los esfuerzos. Mejorar la gestión y consumo de agua, para evitar desperdicio y contaminación de la misma.

En esta sección se considera muy importante poner en la palestra la necesidad de poder diferenciar el consumo final del agua potable utilizada en el campus, sobre todo en campus tan grandes como San Joaquín, donde hay grandes extensiones de terrenos de áreas verdes. Un primer acercamiento de esto fue el trabajo realizado para el Balance Hídrico de San Joaquín, el cual a la fecha todavía se encuentra en construcción, por lo tanto solo ha servido para dar un atisbo de cómo podría ser la proporción de uso en riego y de uso en edificios.

Puntos interesantes para incluir en próximos estudios

- Uno de los primeros puntos es poder desagregar la información, según campus, cuya dificultad se encuentra en establecer una buena medición de las áreas verdes para cada campus.
- Alimentación: se sugiere hacer un primer acercamiento a través de la cuantificación de una dieta estándar (definida con ayuda de otras disciplinas), cantidad de platos que sirve la universidad en sus diferentes casinos en cada uno de los campus.

Bibliografía

Fueron consultados los siguientes referentes nacionales:

- Cálculo de la Huella Hídrica de la UTEM
- Cálculo de la Huella Hídrica del Campus Casa Central Valparaíso de la UTFSM, Carla Duran
- Estimación Huella Hídrica de la Agricultura Chilena, Guillermo Donoso

Fue consultado el referente internacional:

- Water Footprint Assessment Manual, Arjen Hoekstra, Ashok Chapagain, Maite Aldaya y Mesfin Mekonnen

Recursos:

- Decreto 90:
https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/Documents/DTO_90_07_MAR_2001.pdf
- Decreto 609: <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=121486>
- Generadoras Chile: <http://generadoras.cl/documentos/boletines>
<http://generadoras.cl/tipos-energia/energia-termica>
- Dirección Meteorológica de Chile:
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/anuario/2018>
<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/anual/evapoTranspiracionAnual/330020/2018>

Todos los cálculos fueron realizados en el link a continuación:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1tLKCQbj9Ok1KA0dV0KdHtAlGUy7ItLZreAFwuo0Mu4g/edit#gid=1169273320>