

HUELLA HÍDRICA EN EL CICLO DE VIDA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES. ETAPAS DE URBANIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

Cristina Rivero Camacho*, Jaime Solís Guzmán* y Madelyn Marrero*

**Departamento de Construcciones Arquitectónicas II de la Universidad de Sevilla.*

RESUMEN

El consumo total de agua de un edificio no sólo incluye el agua utilizada in situ para la construcción del mismo, sino también el agua que ha sido necesaria fuera de la obra para la fabricación de los materiales empleados, así como la maquinaria y mano de obra sin los cuales no se podría ejecutar el edificio. A esto se le conoce como Agua Virtual (AV) de un producto, en nuestro caso el edificio. En este trabajo se propone un modelo de presupuestación para calcular el impacto del agua en un edificio residencial plurifamiliar en su ciclo de vida. Se desarrolla la huella hídrica (HH) como indicador para el cálculo del agua que se consume de forma directa e indirecta en el proceso edificatorio. Por último, para ilustrar el modelo, se incluye la aplicación a un caso de estudio, así como el análisis de los resultados.

Palabras-Claves: huella hídrica, agua virtual, ciclo de vida, edificación, recursos naturales.

1. Introducción

En 1993 la World Wildlife Fund (WWF) definió el término Construcción Sostenible refiriéndolo no sólo a los edificios propiamente dichos, sino incluyendo también su entorno y la manera en que estas estructuras “se comportan” para formar las ciudades. Desde esta perspectiva, la construcción no es solo un asunto de edificios y espacio construido, sino que comprende al conjunto de agentes, actuaciones y transformaciones que determinan la manera en que el fenómeno de la construcción respeta o incumple los principios y criterios del desarrollo sostenible (WWF1993).

La edificación, y otros factores intervinientes de forma directa o indirecta en la construcción de la ciudad, tienen notables impactos ambientales en cuanto a consumo de recursos naturales y energía o emisión de gases de efecto invernadero, de ahí la necesidad de considerar la dimensión ambiental como clave en un enfoque de construcción sostenible. La construcción es responsable del consumo de más del 40% de los recursos naturales entre ellos de una parte significativa del consumo de madera y de agua en el mundo y del 30% de la energía, a la vez que produce más de un 30 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (Cambio Global España 2020/50. Sector edificación). Más específicamente, el sector de la edificación es uno de los grandes consumidores de los recursos hídricos disponibles. De acuerdo con el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (2006) los edificios y su industria asociada consumen un 30% del agua dulce disponible a nivel mundial.

Garantizar el abastecimiento seguro de agua potable y el saneamiento para todos en 2030 es uno de los seis objetivos directamente relacionados con el agua de los ODS. Por su parte, en diciembre de 2015, en la Conferencia sobre cambio climático de ONU en París, los dirigentes de todo el mundo reconocieron el papel fundamental que el agua va a

protagonizar en un mundo sometido al calentamiento global. La seguridad hídrica (water security) se ha incluido en los planes de respuesta al cambio climático de la mayoría de los países y ha estado en el centro de numerosos debates y acuerdos bi y multilaterales entre los países participantes (Gleik, 2013).

Como el consumo per cápita ha venido incrementándose durante las pasadas décadas debido al cambio en estilos de vida y al crecimiento de la población, la proporción del agua incorporada a los usos humanos aumenta. Este hecho unido a variaciones espaciales y temporales en la disponibilidad de agua, explica que el recurso hídrico para producir comida para el consumo humano, los procesos industriales y el resto de usos se hace más escaso.

Una gran parte del esfuerzo en los edificios para reducir el consumo de agua y ser más eficientes se enfoca solo en el consumo directo del agua a través de sistemas, dispositivos y electrodomésticos más eficientes, y en un mejor tratamiento y reciclado de las aguas residuales. Pero el consumo directo representa sólo el 12% de la demanda total (Green Building Council Australia, 2008). Otra gran parte del consumo se hace de forma indirecta en los edificios a través de los procesos de producción de los materiales y equipos de construcción o por el consumo de agua por parte de los trabajadores a través de su alimento, lo que se suele denominar consumo de agua indirecto.

El concepto de Agua Virtual (AV) fue formulado por Allan (1993) como el indicador del agua dulce que se consume de forma directa e indirecta en cualquier proceso productivo. Aunque no se pueden desconocer las lecturas críticas que este concepto ha recibido desde diferentes puntos de vista (Velázquez et al. 2011; Beltrán y Velázquez, 2015), el concepto ha tenido un gran desarrollo desde entonces y también resulta de gran utilidad para una mejor gestión del agua asociada a los edificios. Sin embargo, son pocos los estudios sobre edificación que emplean este indicador. Entre ellos sobresalen algunos estudios australianos en el sector terciario que destacan el consumo de AV durante la etapa de construcción con respecto al resto del Ciclo de Vida del Edificio (CVE) (McCormack et al. 2007). Por su parte, Bardham (2011) analiza el consumo de agua en la construcción de viviendas en India, identificando su importancia. También Crawford y Pullen (2011) analizaron el agua en el ciclo de vida de los edificios residenciales durante un periodo de 50 años y concluyen que el AV en los materiales de construcción es mayor que el consumo directo de las viviendas, por lo que las políticas sobre el agua deben incluir también los consumos virtuales. La HH de los edificios se pueden analizar desde una perspectiva global (Chang et al. 2016) a través de un análisis input-output de los consumos totales en el país o de modelos que analizan los componentes en los proyectos de construcción (Meng et al. 2014).

En base a estas consideraciones, el objetivo principal del presente trabajo de investigación está en identificar los recursos hídricos que son empleados durante las fases del Ciclo de Vida del Edificio (CVE). Se desarrolla el indicador HH para la determinación del impacto que genera el agua en los elementos que forman los edificios desde la perspectiva del presupuesto, empezando por los proyectos de transformación de terrenos rústicos a urbanizados, continuando con la construcción de edificaciones destinada al uso de viviendas, con dejando para futuras evaluaciones la etapa de uso del edificio y la etapa final del CVE, la rehabilitación o demolición del mismo. La aplicación del estudio de la HH en el conjunto de los procesos de la edificación aportará interesantes criterios para el análisis de la sostenibilidad de los proyectos.

2. Metodología

2.1. Metodología ARDITEC y el uso de la Clasificación Sistemática.

Se parte de una adaptación del modelo de cuantificación de Huella Ecológica (HE) y de Carbono (HC) (Solís-Guzmán et al. 2013, Marrero et al. 2014) desarrollado en el grupo de investigación ARDITEC para su aplicación a la evaluación de los proyectos de edificación. La base de la metodología HE en edificación, ha sido la cuantificación de los recursos consumidos a través de la clasificación sistemática del Banco de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014). El modelo tiene una estructura presupuestaria, donde a cada recurso se le asignan una serie de coeficientes para el cálculo de sus HE y HC. En el presente trabajo se añaden por primera vez coeficientes que contemplan el agua incorporada en la fabricación de los materiales, así como al agua que interviene en la puesta en obra de los mismos.

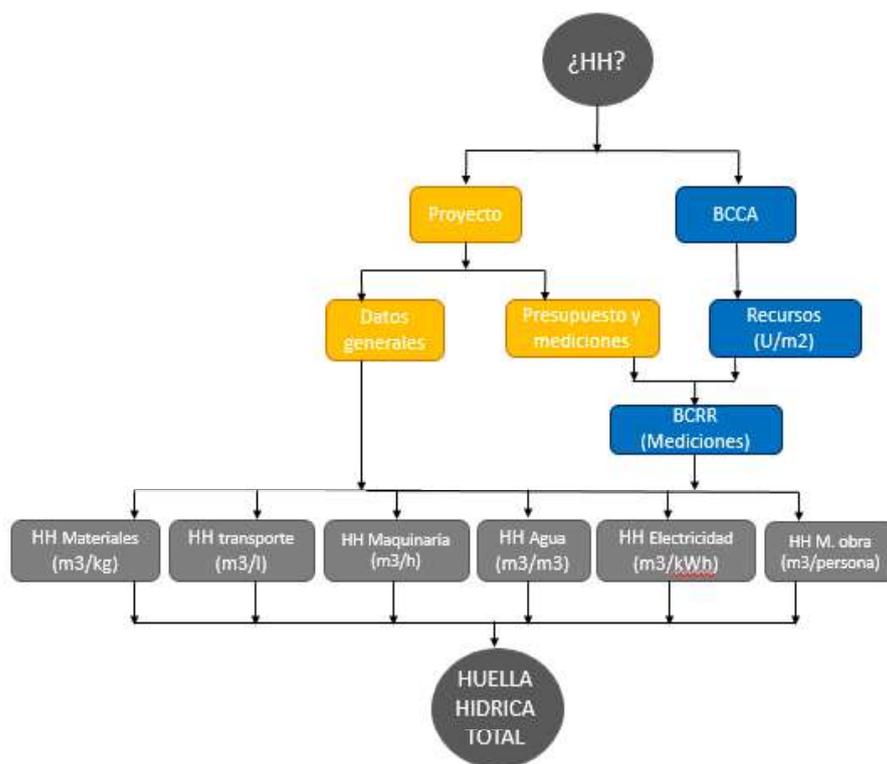
En el presente trabajo se estudiarán aquellos procesos previos a la obra de edificación, en los que el terreno se urbaniza y equipa con las instalaciones de abastecimiento (agua potable) y saneamiento (aguas pluviales y aguas residuales) necesarias para conectarlo con la ciudad, partiendo de la metodología previamente definida por el equipo en el cálculo de la HE (Solís-Guzmán et al. 2013, Marrero et al. 2014). Respecto a la fase de construcción, se plantea el consumo de agua directa e indirecta de forma similar a la fase anterior (Solís et al. 2013 y González et al. 2015). Se entiende por agua directa aquella que se consume durante la construcción del edificio, por ejemplo en la elaboración de mezclas y morteros o en pruebas hidráulicas. El agua indirecta es aquella que se ha consumido durante los procesos de manufactura de los materiales de construcción, en su ciclo de la cuna a la puerta.

Para el cálculo de los consumos de energía y agua se utilizarán estimaciones mediante datos empíricos obtenidos de empresas suministradoras, de otras investigaciones (Cubillo et al, 2008, Naredo et al., 2009), del Código Técnico de la Edificación (CTE) y de organizaciones como el Instituto Nacional de Estadística (INE), Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE), la Organización Mundial de la Salud (OMS), etc.

2.2. Procedimiento detallado:

El modelo de cálculo de HH usando AV que se desarrolla sobre la base del método ARDITEC, se muestra en la Figura 2.2. Se puede describir en los siguientes pasos:

Figura 2.2.: Esquema de la metodologia de càlcul de HH



Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. Inventario de recursos

El primer paso del càlcul és la construcció d'un inventari que inclou totes les entrades del edifici, que es pot llevar a cabo mitjançant l'aplicació del pressupost de recursos. En aquest document, tots els recursos es ordenen en base a la Classificació Sistemàtica (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014), podent-se simplificar en quatre categories: mà de obra, materials, aigua corrent i maquinària, degut a que l'aigua és una part especial i significativa en el procés de càlcul d'aigua virtual.

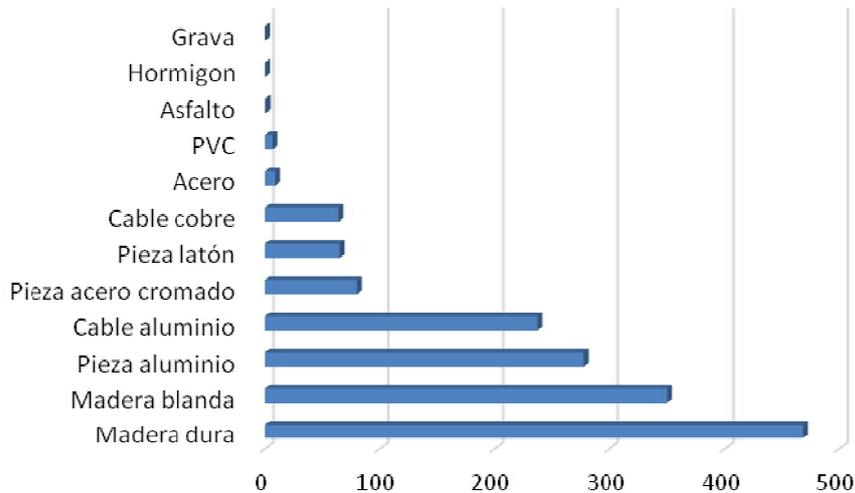
Entrada de mano de obra

Per al càlcul de l'AV de la mà de obra, s'usarà el valor de HH per càpita espanyola (Hoekstra, A.Y., 2008) tenint en compte únicament els m^3 d'aigua referents a l'alimentació. Aquest resultat de consum per persona anual, es convertirà a consum per persona i hora. Així, es facilita el càlcul ja que la mesura de la mà de obra utilitzada en la ingenieria de construcció es contabilitza en hores de treballador.

Acopio de materiales

Los materiales se clasificarán por sustancias o componentes de similares propiedades físicas. Estos se analizarán en la herramienta informática Simapro, con la base de datos de Ecoinvent (Ecoinvent V2.2., 2010), para obtener el volumen de AV empleado para la producción de cada kg de material.

Figura 2.2.1.: AV de materiales destacables de los proyectos estudiados (m3/kg)



Fuente: Elaboración propia.

Entrada de agua de grifo.

La entrada de agua de grifo es el agua que se utiliza en la obra. El AV de la entrada de agua del grifo no es solamente la cantidad de uso de agua directamente en el sitio de construcción, sino que además debemos contabilizar el gasto energético para su transporte desde el origen hasta el punto de consumo, así como las pérdidas por fugas y averías. En España, actualmente se calcula un 16,7% de pérdidas de las redes públicas de abastecimiento urbano, según un informe del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2008). A esto hay que añadir, la energía asociada a los tratamientos de captación, abastecimiento y distribución de agua urbana, se estima en un consumo de electricidad de bombeo de que ascienden a $8,345\text{kW/m}^3$ según el Instituto para la diversificación y el ahorro de energía (IDAE, 2012), en su artículo titulado Abastecimiento y depuración de agua.

Entrada de la maquinaria.

El agua virtual de la entrada de la maquinaria, se calcula multiplicando su potencia y rendimiento por su tiempo de trabajo para la construcción de destino. Además se diferenciarán las maquinarias eléctricas de las de combustible fósil (diésel o gasolina). En el caso de las máquinas de combustible, obtendremos el AV por litro de combustible desde la base de datos de Ecoinvent. (Ecoinvent V2.2., 2010). Para las eléctricas, usaremos el AV asociada al mix energético español para el año en el que se desarrollan las obras.

Entrada de Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

Los RCD son los restos, desperdicios o productos de demolición de los materiales de la obra. Por tanto, no tendrán agua incorporada por si mismos ya que está fue contabilizada en la entrada de materiales. En su lugar, si será necesario un gasto imputable a los RCD, de horas de maquinaria y mano de obra, necesarias para el acopio de los mismos y su retirada al vertedero.

Entrada de Consumos Indirectos (CI).

En la estructura de presupuestos de la construcción, se diferencia claramente dos costes: los Costes Directos (CD) y los Costes Indirectos (CI). Los CI se diferencian de los primeros, a que su coste no puede ser aplicado directamente a un producto, es decir intervienen en varias partidas de la obra o durante toda la duración de la misma. En estos encontraremos la maquinaria indirecta tales como la grúa torre, la mano de obra asociada al equipo técnico o materiales intervinientes en varias etapas como puede ser el agua o la electricidad.

Entrada de electricidad.

Para el cálculo de la electricidad consumida durante las obras, tendremos que tener en cuenta dos aspectos. El primero es que habitualmente, el estudio del impacto ambiental de un proyecto, será antes de la ejecución del mismo, por lo que tendremos que partir de hipótesis de consumo eléctrico en obras en base a consumo estimado por superficie de parcela. Lo segundo que se tendrá en cuenta es el año de ejecución de las obras. Esto será muy importante para seleccionar las fuentes de energía que generan la electricidad que se suministra. Con el mix energético y los datos obtenidos de consumo de agua por fuente de energía (Hardy y Garrido 2010, Rodríguez de Lucio et al. 2010), se ha calculado el AV en m³/kWh.

2.2.2. Cálculo del AV de cada recurso.

El consumo de agua incorporada de cada recurso, AV_i , se puede calcular multiplicando su peso P_i , por su volumen de agua incorporada, donde C_i es el consumo de agua del recurso i . Ver ecuación 2.3.2. El cálculo del agua virtual del edificio se resuelve con el sumatorio del agua virtual incorporado en cada elemento o recurso.

$$AV_i = C_i \times P_i \quad (\text{Ecuación 2.2.2.})$$

3. Estudio de caso.

3.1. Descripción del edificio de estudio

Se presenta el estudio de un caso práctico para un conjunto residencial formado por dos bloques de viviendas ubicado en la provincia de Huelva (Andalucía). En febrero de 2006 se redactó el Proyecto de Urbanización (PU). El objeto del PU era dotar de infraestructuras y pavimentación a la parcela del Camino Viejo de Bollullos. El área de actuación era de

9.623,71 m². Las infraestructuras que se incorporaron en el PU fueron: abastecimiento de agua, alcantarillado, red eléctrica, red de telefonía y alumbrado público.

El proyecto de Edificación (PE) de 107 viviendas plurifamiliares de Protección Oficial, 107 plazas de aparcamiento, 107 trasteros y locales comerciales. La promoción se desarrolla en dos parcelas independientes, siendo la superficie de la Parcela 1 de 1.484,80 m² y la superficie de la parcela 2 de 1.320,08 m². El PE recoge la construcción de 2 bloques:

Bloque 1 se compone de 57 viviendas y el bloque 2, de 50. La organización de todas las viviendas es muy similar y se distribuyen en: estar-comedor, cocina, dos baños, tres dormitorios y los vestíbulos y espacios de distribución necesarios. La superficie útil de cada una de ellas es de 70 m², dando una superficie total de las 57 viviendas de 3.990 m². El mismo análisis se hace con el bloque 2, dando una superficie de 3.500 m². La superficie útil total de las 107 viviendas de 7.490 m².

3.2. Fases estudiadas y duración de las mismas

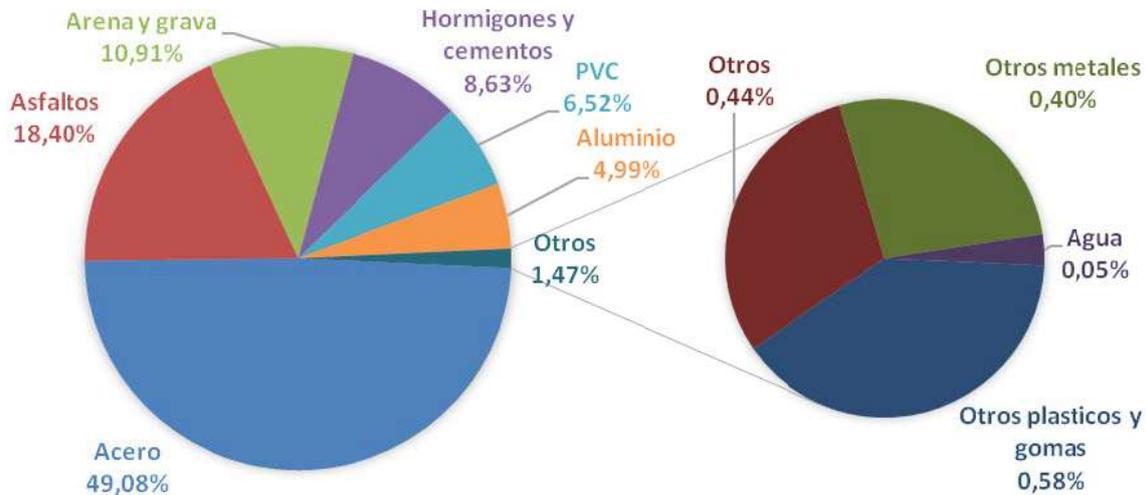
Se establecen 6 meses de duración de las obras para esta primera fase de urbanización del suelo. La cual se inicia en el año 2008. Seguidamente se inician las obras de ejecución de la edificación, las cuales se prolongan durante 18 meses. Como datos de cálculo, se tomarán los valores ambientales correspondientes al año 2008 durante los dos años que duran las fases de ejecución.

4. Resultados.

El trabajo muestra los resultados de HH para dos de las fases del CVE, y se focalizan las partidas de obras y actividades que mayor impacto hídrico ocasionan, siendo en la fase de construcción del edificio donde se concentra la mayor huella, un 88% aproximadamente. Todos los valores son extrapolados a la superficie edificada con el fin de poder comparar los resultados, lo cual facilitará su gestión y control.

4.1. Urbanización.

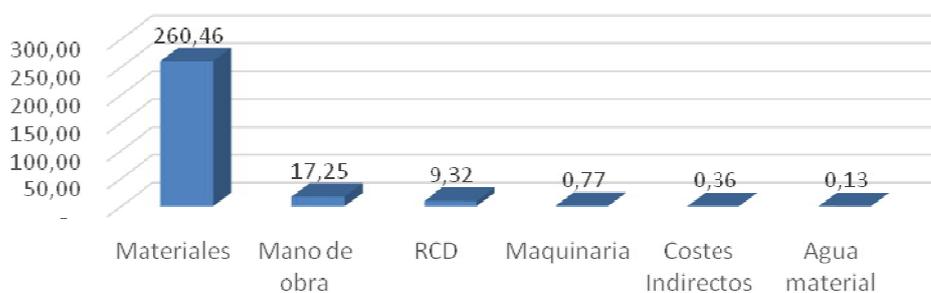
Figura 4.1.1: Proporción del AV de los materiales del proyecto de urbanización estudiado.



Fuente: Elaboración propia.

En las obras de urbanización, se pueden observar una menor variedad de materiales si comparamos las figuras 4.1.1 y 4.2.1, ya que en esta tipología de obras, prima los movimientos de tierras y la preparación de los terrenos sobre la ejecución de elementos. Sin embargo, en ambas el acero encabeza como el material que mayor impacto hídrico produce.

Figura 4.1.2: AV de recursos del Proyecto de urbanización (m3/m2).

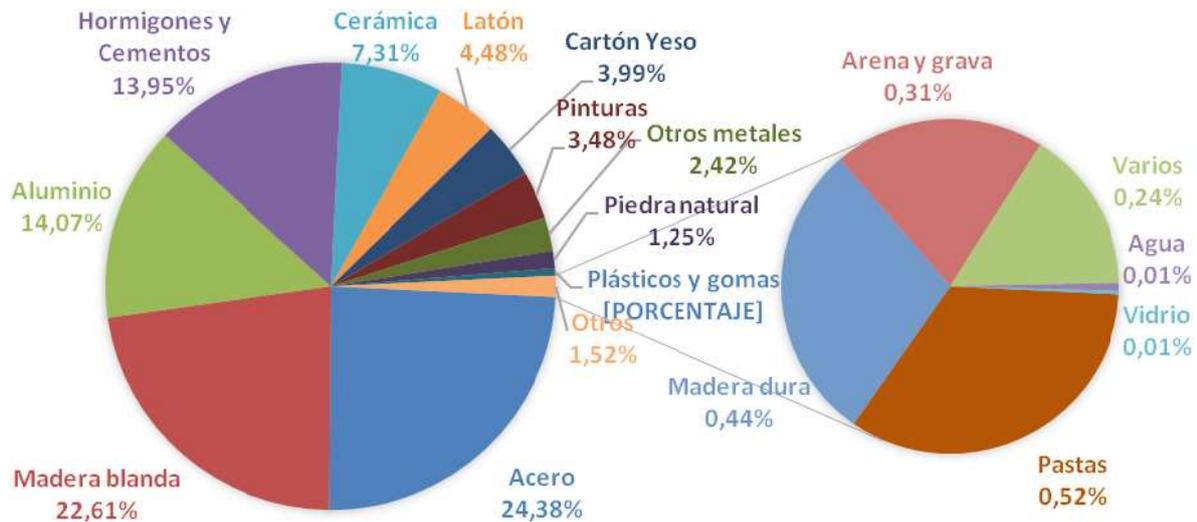


Fuente: Elaboración propia.

Los componentes del consumo de agua se muestran en la figura 4.1.2. Fácilmente se aprecia el peso de la HH asociada a los materiales frente al resto de recursos, en concreto cabe destacar la menor HH correspondiente al suministro de agua. Se observa que la mano de obra tiene un mayor protagonismo en las obras de urbanización frente a las de construcción. Ver figura 4.2.2.

4.2. Construcción.

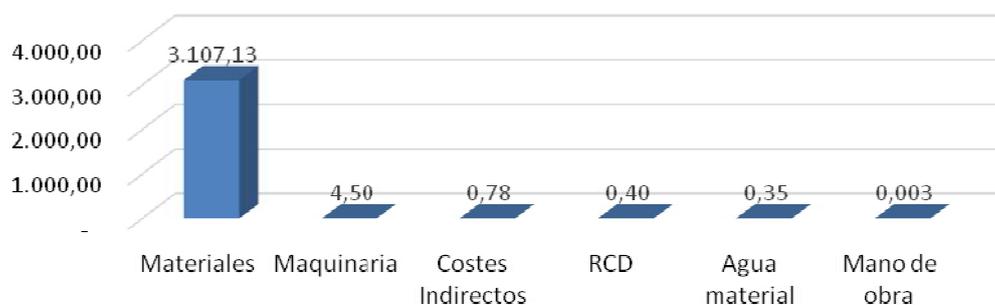
Figura 4.2.1: Proporción del AV de los materiales del proyecto de edificación estudiado.



Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la mayoría de los edificios se ejecutan con estructura de hormigón armado, aproximadamente 38% del consumo total de agua en los materiales está incorporado en las entradas de acero y hormigón. Ver figura 4.2.1. Esto es un indicio de que la aplicación de medidas de ahorro de agua en las industrias del acero y el hormigón puede ayudar significativamente a reducir el agua virtual de la construcción del edificio. Este resultado también está de acuerdo con otros estudios que muestra que las emisiones de los productos de acero y hormigón las dominantes en la energía total incorporada en las emisiones de carbono y agua virtual ([Bardhan 2011](#), [Han et al., 2013](#) y [Shao et al., 2013](#)).

Figura 4.2.2: AV de recursos del Proyecto de edificación (m3/m2).

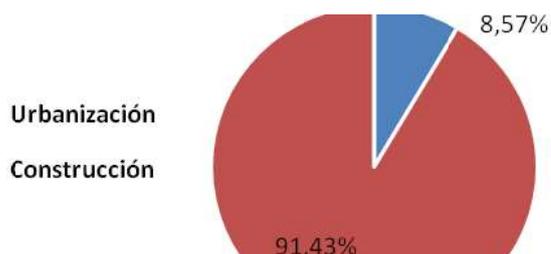


Fuente: Elaboración propia.

4.3. Comparativa del agua consumida de cada fase

El AV total para las dos primeras fases del edificio estudiado, resulta para la construcción $29,56E + 06 \text{ m}^3$, mientras que el consumo de agua que representa la urbanización es de $2,7E+06 \text{ m}^3$ (ver proporción en figura 4.3.).

Figura 4.3: Proporción de AV en las fases de Urbanización y Construcción.



Fuente: Elaboración propia.

En futuras investigaciones se abordará en detalle la siguiente etapa, la de uso. Sin embargo como aproximación rápida, podemos asumir la hipótesis de que 2,7 personas (Solís et al., 2013) habitan cada una de las 107 viviendas durante 80 años de vida del edificio (Cabeza et al., 2014), y usando el valor de consumo de agua medio per cápita española (Hoekstra, A.Y., 2008) de $2,147 \text{ m}^3/\text{persona}$ y año. Sin que sirva de precedente, ya que no se contabilizan muchos aspectos intervinientes en el impacto hídrico de la etapa de uso, resultan aproximadamente unos 50.000 m^3 , que vienen a representar el 0,15% del total de las tres etapas.

Con ello, resulta evidente la importancia de estudiar el uso del agua oculta fuera de las instalaciones de suministro de las viviendas para una mejor gestión de los recursos de agua dulce. El impacto de agua virtual de los proyectos estudiados es de $3.517 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (consumo indirecto) siendo este muy superior al volumen de entrada de agua del grifo (el consumo directo de agua).

5. Conclusiones

El consumo de agua y la conservación de edificios despiertan la atención mundial por su importancia significativa en la conservación global del agua. Aunque muchos estudios proporcionan una aproximación a grandes rasgos para identificar la conservación del agua durante la etapa de operación y mantenimiento del edificio, parece que hay una falta de investigación científica sobre el agua virtual de la construcción de edificios. Además, la mayoría de las investigaciones existentes sobre el agua virtual se basa únicamente en cualquiera de los dos análisis de procesos o el análisis de insumo-producto, lo que

inevitablemente introduce errores intrínsecos de los sistemas de contabilidad de agua virtual.

El agua virtual total del edificio estudiado se estima como $33,5E + 06 \text{ m}^3$.

Debido a que la mayoría de los edificios se ejecutan con estructura de hormigón armado, aproximadamente 38% del consumo total de agua en los materiales está incorporado en las entradas de acero y hormigón. La etapa de ejecución del proyecto es la que mayor impacto hídrico genera en el CVE con más del 96% del total. Por lo tanto, La elección de los materiales con bajas intensidades de agua en su fabricación es otra manera de disminuir el consumo de agua virtual.

Para la perspectiva de la construcción verde, identificando el agua oculta utilizada fuera del sitio es importante para equilibrar el consumo de agua. El marco establecido en el presente estudio proporciona directrices para los diseñadores y constructores de proyectos en el equilibrio del presupuesto total de agua de un edificio y por lo tanto puede encontrado una amplia aplicación en otros estudios de agua virtual en el futuro.

Referencias

Allan, J.A., 1993. Fortunately, there are substitutes for water otherwise our hydropolitical futures would be impossible. In: *Priorities for Water Resources Allocation and Management*. Overseas Development Administration, London, UK, pp. 13-26.

Bardhan, S., 2011. Assessment of water resource consumption in building construction in India. In: Brebbia, C.A., ET, Villacampa Esteve, Y. (Eds.), *Ecosystems and Sustainable Development*, vol. VIIIWIT press, pp. 93-101.

Beltran, M.J. y Velazquez, E. (2015) "La ecología política del agua virtual y huella hídrica. Reflexiones sobre la necesidad de un análisis crítico de los indicadores de flujos virtuales de agua en la economía", en *Revista de Economía Crítica*, nº20, segundo semestre

Cabeza L.F., Rincón L., Vilariño V., Pérez G., Castell A., 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29:394-416. Cambio Global España 2020/50. Sector edificación. Programa Cambio Global España 2020/50 del Centro Complutense de Estudios e Información Medioambiental de la Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid. Abril, 2010. Madrid. España.

Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2014). *Base de Costes de la Construcción en Andalucía*. Sevilla, España.

Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2014). *Clasificación Sistemática de Precios Básicos, Auxiliares y Unitarios*. Sevilla, España.

Chang, Y., Huang Z., Ries R., Masanet E. (2016) The embodied air pollutant emissions and water footprints of buildings in China: a quantification using disaggregated input-output life cycle inventory model. *Journal of Cleaner Production* 113 pp. 274-284.

Crawford, R.H., Pullen, S., (2011). Life cycle water analysis of a residential building and its occupants. *Build. Res. Inf.* 39 (6), 589-602.

Cubillo, F., Moreno, T., Ortega, S. (2008), Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid. Nº4. Cuadernos de I+D+i. Canal de Isabel II. Madrid.

Ecoinvent V2.2. (2010). The Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2010 www.ecoinvent.ch

Garrido, A., Hardy, L., 2010. Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España., Papeles de Agua Virtual.

Gleick, P. H. (2013) The World's Water, Volume 8. The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press, Washington, D.C.

González Vallejo, P., Marrero, M., Solís Guzmán, J. (2015) The ecological footprint of dwelling construction in Spain. Ecological Indicators. 52. 75-84

Green Building Council of Australia (GBCA), 2008. The Dollars and Sense of Green Buildings 2008: Building the Business Case for Green Buildings in Australia. GBCA, Melbourne, VIC.

Han, M.Y., Chen, G.Q., Shao, L., Li, J.S., Alsaedi, A., Ahmad, B., Guo, S., Jiang, M.M., Ji, X., 2013. Embodied energy consumption of building construction engineering: case study in E-town, Beijing. Energy Build. 64, 62e72.

Hoekstra, A.Y., 2008. The water footprint of food. Water food 109, 49–60. doi:10.1016/B978-0-12-799968-5.00007-5

IDAE. Mateos, F., Rodríguez, S., (2012). Estudio de Prospectiva Consumo Energético en el sector del agua. Minist. Ind. Energía y Tur. Fund. Esc. Organ. Ind.

INE, 2008. Estadísticas e indicadores del agua. Boletín Inf. del INE 12.

Marrero, M., Freire Guerrero, A., Solís Guzmán, J., Rivero Camacho, C. (2014) Estudio de la Huella Ecológica de la Transformación del Uso del Suelo. Seguridad y Medioambiente. Fundación Mapfre. Vol. 2000. 136. 6-14

McCormack, M., Treloar, G.J., Palmowski, L., Crawford, R., (2007). Modelling direct and indirect water requirements of construction. Build. Res. Inform. 35 (2), 156-162.

Meng, J., Chen, G.Q., Shao, L., Li, J.S., Tang, H.S., Hayat, T., Alsaedi, A., Asaadi, F. (2014) Virtual water accounting for building: case study for E-town, Beijing. Journal of Cleaner Production. 68 pp.7-15.

Naredo Pérez, J.M. (coord.) (2009) El agua virtual y la huella hidrológica en la Comunidad de Madrid. Cuadernos de I+D+i, Cnal de Isabel II, Madrid.

REE, 2015. El sistema eléctrico español.

Shao, L., Chen, G., 2013. Water footprint assessment for wastewater treatment: method, indicator and application. Environ. Sci. Technol. 47 (14), 7787e 7794.

Shao, L., Chen, G., Chen, Z., Guo, S., Han, M., Zhang, B., Hayat, T., Alsaedi, A., Ahmad, B., 2013. Systems accounting for energy consumption and carbón emission by building. Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cnsns.2013.10.003> .

Solís Guzmán, J., Marrero, M., Ramirez de Arellano, A. (2013) Methodology for Determining the Ecological Footprint of the Construction of Residential Buildings in Andalusia (Spain). Ecological Indicators. 25. 239-249

Velázquez, E. Madrid, C. and Beltrán, MJ. (2011) "Rethinking concepts of virtual water and water footprint in relation to the production–consumption binomial and the water–energy nexus". *Water Resources Management* 25, 743–761.

WWF (1993) *The Built Environment Sector, Pre-Seminar Report*. (Council for Environmental Education WWF, Department of Environment, De Monfort University Leicester).