

Muñoz M., A.P., Mora, M., (2024). Recomendaciones para un modelo del proceso de diseño de edificaciones con gestión hídrica sustentable. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción* (IX ELAGEC2024).

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA UN MODELO DEL PROCESO DE DISEÑO INCORPORANDO GESTIÓN HÍDRICA SUSTENTABLE PARA EL SECTOR RESIDENCIAL

Alejandra P. Muñoz M. <sup>1</sup> – [Alejandra.Munoz@uss.cl](mailto:Alejandra.Munoz@uss.cl)

Miguel Mora <sup>2</sup> – [mimora@ing.uchile.cl](mailto:mimora@ing.uchile.cl)

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad San Sebastián, Chile.

<sup>2</sup>Instituto Profesional IACC, Santiago, Chile.

## RESUMEN

La escasez hídrica y el cambio climático exigen que los profesionales del sector de la edificación residencial integren, desde las primeras etapas del diseño, requisitos ambientales, normativos, técnicos, de colaboración, sociales y económicos para la gestión hídrica sustentable. Para entender cómo se incorporan estos nuevos requerimientos en el proceso de diseño, esta investigación presenta una revisión bibliográfica semiestructurada con el objetivo de informar el desarrollo de un modelo del proceso de diseño descriptivo que se enfoque en las fases iniciales para la gestión hídrica sostenible (GHS) en el sector residencial. A través del análisis de 131 publicaciones constatamos que la literatura existente no proporciona una descripción detallada de este proceso para el sector residencial. Aunque algunos estudios ofrecen una representación cognitiva del proceso de diseño, no abordan de manera integral los aspectos específicos de la GHS. Otros modelos complementan la información, sin embargo persisten brechas, especialmente en la gestión de la información y criterios para la toma de decisiones. La síntesis realizada debe considerarse como una guía inicial para profundizar en el modelo del proceso de diseño para la GHS en el sector residencial y así poder orientar estrategias que apoyen a los profesionales en este desafío.

## PALABRAS CLAVE

Gestión Hídrica Sustentable; Proceso de Diseño; Manejo Sustentable de Agua; Sustentabilidad; Manejo Sustentable de Agua.

## INTRODUCCIÓN

La gestión hídrica sustentable (GHS) tiene por objetivo proteger y conservar los recursos hídricos mientras se hace uso prudente de ellos. Para lograrlo, el diseño e implementación de los proyectos de edificación necesitan un abordaje holístico (Reed, 2009; O'Connor et al., 2010; International Living Future Institute [ILFI], 2019). De acuerdo con el estándar Living Building Challenge (LBC), uno de los procesos de certificación más rigurosos en la gestión hídrica, la sustentabilidad en esta materia se logra cumpliendo con dos requisitos: 1) cubriendo el consumo de agua del proyecto con aguas lluvias o con aguas recicladas y 2) manejando el 100% de las aguas lluvias y aguas grises-negras en el sitio; todo esto con el propósito de replicar el flujo natural de las aguas sobre el sitio sin contaminarlas (Julio 2024 - Living Building Challenge 4.1 Program Manual - Julio 2024, n.d.).

Sin embargo, diseñar para una GHS en edificaciones requiere cambios en el proceso tradicional de diseño de los stakeholders (Novotny et al., 2010). Los equipos requieren de apoyo para la toma de decisiones informada (Barbosa et al., 2012), de hecho, incorporar los requisitos ambientales en las etapas tempranas de diseño de un proyecto es una oportunidad para entender las relaciones entre los diferentes sistemas y lograr soluciones innovadoras y costo-efectivas (Ramani et al., 2010; Reed, 2009). Además, la gestión hídrica en edificaciones es un sector altamente técnico y regulado, por lo que necesita coordinación y comunicación entre los stakeholders para resolver las problemáticas técnicas, científicas y sociales (Ramani et al., 2010).

Esta investigación se centra en el sector residencial ya que su impacto en los recursos hídricos es significativo. El uso del suelo residencial en las ciudades representa entre el 65% y el 75% del total urbano (Rodrigue 2020) y seguirá aumentando (Lubowski et al. 2006), contribuyendo principalmente a la contaminación no-puntual de las aguas locales. La introducción de prácticas ambientales a la escala residencial puede ayudar a proteger y conservar estos recursos. Afortunadamente, la demanda por el diseño e implementación de soluciones de GHS en el sector residencial está aumentando, con un número creciente de proyectos buscando certificaciones, de 2 a 41 entre 2013 y 2024 de acuerdo con lo reportado por ILFI (Our Living Future Projects Map, n.d). Sin embargo, el diseño en este sector presenta desafíos, ya que los proyectos son de pequeña escala, con presupuestos limitados y gestionados por equipos pequeños. Los profesionales de proyectos residenciales suelen preferir prácticas probadas y carecen de recursos para la innovación.

La GHS integrada en la fase de diseño ha creado nuevas posibilidades y restricciones para el diseño de proyectos (Ramani et al. 2010; Reed 2009). Conocer y modelar este proceso nos permite identificar qué, cuándo, cómo y dónde es requerida información, conocimientos, comunicación y herramientas para la toma de decisiones. Conociendo en detalle cómo se diseña para el manejo holístico y sustentable del agua, permite proponer cambios, ajustes, estrategias y/o metodologías para guiar a los equipos de proyectos residenciales involucrados en este nuevo desafío.

El objetivo de esta revisión bibliográfica es informar la construcción de un modelo del proceso de diseño para la GHS para el sector de la edificación residencial. Para ello se realizó una revisión de literatura semiestructurada en busca de modelos descriptivos del proceso de diseño de edificaciones residenciales, que se enfoquen en las fases iniciales



De acuerdo con la categorización realizada, se puede observar que hay escasa literatura que aborda al mismo tiempo los modelos del proceso de diseño y la GHS, así como también literatura que incorpora al sector residencial. De acuerdo con este hallazgo, este documento describe las consideraciones para la construcción de un modelo del proceso de diseño incorporando gestión hídrica sustentable para el sector residencial, considerando la brecha detectada, por lo que no toda la información vertida hace referencia a la GHS.

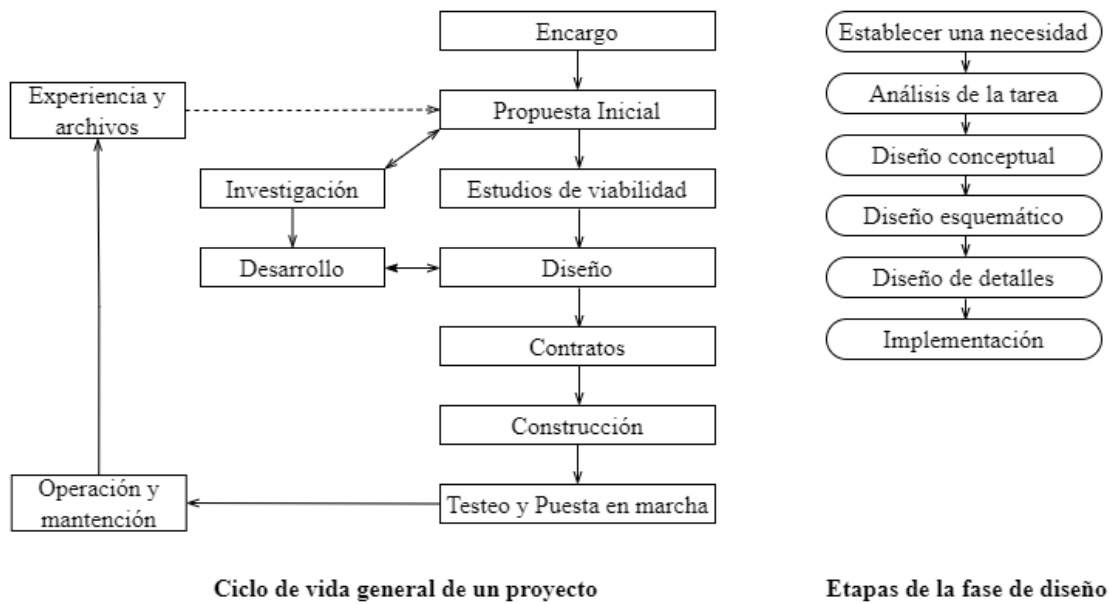
Este documento comienza con una descripción general del ciclo de vida de un proyecto y la etapa de diseño. A continuación, se ofrece una síntesis de los modelos descriptivos del proceso de diseño que abordan las dimensiones procedimentales y cognitivos, y cómo estos se relacionan con el contexto inmediato del diseño (Wynn & Clarkson 2018) en las etapas iniciales de un proyecto, seguido por la presentación de aquellos modelos que incorporan enfoques sostenibles y de GHS. No se incluyen en este texto las 131 publicaciones presentadas en la Figura 1; en su lugar, se han seleccionado las más relevantes, evitando la repetición de información y priorizando aquellas que guardan relación con la GHS en edificaciones, en los casos que se encuentra información. Basándose en esta revisión de la literatura, este documento concluye con recomendaciones y la identificación de trabajo futuro para el desarrollo de modelos de diseño de proyectos residenciales incorporando GHS.

## **PROCESO DE DISEÑO**

El diseño, por definición, tiene como objetivo concretar un conjunto de elementos, tales como especificaciones y planos de construcción, que satisfacen los requisitos de un mandante, respetando un presupuesto, plazos y estándares de calidad que faciliten la construcción, operación y monitoreo de una edificación. Este proceso se divide en diversas etapas que permiten comunicar eficiente y efectivamente el proyecto a los stakeholders (Akin, 1986). Además de lo mencionado, el proceso de diseño incluye diversas actividades, como la creación y manipulación de representaciones abstractas del terreno donde se llevará a cabo la construcción y de la edificación misma. En este contexto, es fundamental mantener un registro de los objetivos, regulaciones e interacciones con los stakeholders con el fin de cumplir con los requisitos del mandante (Akin, 1986).

El diseño de proyectos que incorporan la GHS se inserta en el ciclo de vida tradicional de cualquier proyecto, por lo que es importante comprender cuáles son las etapas dentro de este ciclo de vida. El Instituto de Ingenieros Civiles de US (ICE) entrega una visión y una descripción del ciclo de vida de un proyecto para la entrega y operación correcta de un proyecto (Institution of Civil Engineers [ICE], 2009). La investigación de Howard et al. (2008), estudió 23 modelos procesos de diseño para definir 6 etapas generalizables a cualquier diseño. Para una revisión más completa de los modelos procedimentales y otros relevantes, se recomienda consultar el trabajo de Wynn y Clarkson (2018), que incluye la etapa de desarrollo de proyectos, la cual no se aborda en este documento. La Figura 2 presenta el modelo ICE en paralelo con el modelo de Howard et al. (2008) para la comprensión de las etapas de diseño. Dado que el diseño de modelos GHS se inserta en

los modelos estándar de diseño, estos dos modelos son definidos como la base fundamental para proponer un modelo del proceso de diseño de GHS.



**Figura 2.** Ciclo de vida de un proyecto y el proceso de diseño. Izquierda: Fases del ciclo de vida de un proyecto (Adaptado de ICE, 2009). Derecha: Fases de diseño universales (Adaptado de Howard et al., 2008)

Otro punto importante que considerar dentro una descripción del proceso de diseño son los modelos que buscan proporcionar una comprensión general del proceso, sin establecer una metodología específica a seguir. Estos modelos de diseño se enfocan en el razonamiento, las actividades básicas, y las diversas formas y estructuras del conocimiento que se desarrollan durante el proceso de diseño (Wynn & Clarkson, 2018). Este análisis cognitivo del profesional y su interacción con el diseño ha sido estudiado por diversos autores. La siguiente sección presenta la selección de la literatura con enfoque en descripciones cognitivas del proceso de diseño.

## DESCRIPCIÓN COGNITIVA DEL PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño es la “co-evolución” entre la definición de los requerimientos del mandante, la generación de soluciones y la evaluación de estas (Maher et al., 1996; Dorst & Cross, 2001). El modelo inicial de procesamiento de la información define el proceso de diseño como un proceso de 2 pasos entre la estructuración del problema (definición de los requerimientos) y la forma de resolver el problema (búsqueda y definición de soluciones que cumplan con los requerimientos) (Simon, 1969). Sin embargo, investigación empírica ha demostrado que los participantes de un proceso de diseño no siguen esta metodología de manera secuencial, sino que constantemente iteran redefiniendo requerimientos e introduciendo nuevos objetivos y/o restricciones (Cross, 1984; Lloyd & Scott, 1994; Akin, 2001; 2009; Dorst, 2006; Reymen et al., 2007; Gero et al., 2014). Los participantes de un proceso de diseño analizan, ajustan, cambian y mejoran soluciones, así como también ajustan sus criterios de evaluación durante el proceso de diseño (Akin, 2009; Visser, 2009).

Las primeras fases del diseño son claves para el desarrollo del proceso de diseño (Feria & Amado 2019). Durante estas fases los participantes deben manejar una gran cantidad de criterios e información (requerimientos del mandante, requerimientos técnicos, legales, estéticos y formales) para conceptualizar el problema y definir posibles soluciones para las siguientes fases del proceso. En esta etapa, los diseñadores deben priorizar objetivos y restricciones para generar soluciones iniciales que deben ser evaluadas para crear un marco teórico base para guiar las futuras etapas del proceso de diseño (Akin, 1994; Visser, 2009). Un problema detectado durante esta fase es que los participantes no dedican gran cantidad de tiempo en la definición del problema, por lo que no todos los requerimientos de información quedan claramente definidos para las futuras fases, y los diseñadores prontamente exploran y diseñan soluciones para entender mejor el problema (Ball & Christensen, 2019).

Durante esta primera etapa, los participantes en el diseño generan un número limitado de soluciones iniciales antes de estudiar en detalle las mejores opciones para solucionar el problema (Akin, 1986; 2008; Ball et al., 2001; Eastman, 1969; Kazakçi et al., 2015). Después de evaluar estas alternativas de solución, los diseñadores escogen una, a pesar de que esta es una fase inicial del proceso de diseño (Gero et al., 2014; Ball & Christensen, 2019). Akin (2019) constata que rara vez se generan soluciones alternativas durante las siguientes fases de diseño, confirmando lo encontrado por Ullman et al. (1988), quien observa que los diseñadores prefieren revisar la idea inicial en vez de buscar nuevas soluciones.

El proceso de diseño puede tomar múltiples caminos que llevan a diferentes tipos de soluciones. Algunos de los problemas detectados en la literatura son la falta de claridad en los objetivos, análisis incompletos de los diseños y la propuesta de soluciones tipo para problemas particulares (Ball & Christensen 2019). Durante el proceso de diseño, los participantes adoptan diferentes perspectivas basadas en sus niveles de experticia, restricciones y los múltiples intercambios de información que reciben durante el proceso (Eastman, 1970; Akin, 2001). Durante este proceso, los equipos de diseño deben manejar las diferentes perspectivas socioculturales de sus mandantes, las que se enmarcan en sus valores, creencias, roles, lenguajes y educación (Akin, 1986; Le Dantec & Do, 2009; Luck, 2009; Visser, 2006). Para lograr administrar el proceso de diseño bajo estas condiciones abiertas de información y perspectivas, los equipos de diseño deben descomponer el problema, refinar los requerimientos y lograr un diseño óptimo (Akin, 2001; 2009; Simon, 1975).

Por otro lado, las decisiones en el proceso de diseño están altamente interrelacionadas (Dorst & van Overveld, 2009). Para manejar esta complejidad del proceso los diseñadores descomponen el problema (Visser, 2009) e iteran para implementar soluciones parciales que permitan definir un diseño comprensible (Akin, 2001; 2009). Generalmente los diseñadores usan un enfoque desde arriba hacia abajo (top-down) buscando alternativas que puedan asegurar un enfoque holístico de la solución que permita avanzar de manera balanceada durante el proceso de diseño (Ball & Christensen, 2019). La forma de balancear estas soluciones parciales es una evaluación multicriterio de las soluciones que permita apoyar la toma de decisiones de los diseñadores (Ball & Christensen, 2019). Este balance de las soluciones está directamente influenciado por la experticia de los

diseñadores, los objetivos técnicos y la negociación entre el mandante y el equipo de diseño (Martin et al., 2007; Luck, 2009; McDonnell & Lloyd, 2014).

Por último, las representaciones durante el proceso de diseño son la manera concreta de expresar y manipular los requerimientos y soluciones de un proyecto. Para esto, los equipos de diseño usan un set de representaciones, croquis, diagramas, planimetría, modelos físicos y digitales, que evolucionan desde soluciones abstractas a descripciones concretas de las soluciones (Visser, 2006; Goel & Pirolli, 1992). Estas representaciones son utilizadas por los equipos de diseño para (Visser, 2006):

- Crear registro de las posibles soluciones.
- Ser fuente de inspiración para buscar nuevas soluciones.
- Evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de diseño.
- Evaluar diferentes escenarios.
- Comunicar el diseño a los diferentes actores.

## **DISEÑO BASADO EN CASOS**

En el diseño basado en casos, los equipos de diseño realizan un razonamiento analógico para generar soluciones de diseño. En este caso, los equipos de diseño capturan información de diversas fuentes para aplicarlo en su proceso de diseño. Las formas de capturar esta información son (Eilouti, 2009; Akin, 2002): 1) Información para etapas de prediseño (generación de objetivos), 2) Generar prototipos o plantillas para el desarrollo del nuevo diseño, 3) Definir procedimientos para resolver el nuevo diseño y 4) Recopilar criterios de evaluación.

Este razonamiento analógico, definido como la transferencia de conocimiento de una disciplina a otra o de un caso a otro, entrega a los equipos de diseño (Ball & Christensen, 2019): 1) posibles soluciones de diseño, 2) formas de identificar problemas en las soluciones propuestas, 3) identificar nuevas funciones del diseño y 4) recursos para explicar nuevos conceptos al equipo de diseño. A su vez, simulaciones mentales, definidas como analizar una secuencia de eventos para definir sus consecuencias en el diseño o el impacto de una decisión sobre el diseño, ayudan a los equipos de diseño a evaluar soluciones de manera rápida y cualitativa sin tener que manipular el diseño (Ball & Christensen, 2019).

A continuación se describe la organización del proceso de diseño, en este caso, extraído de la literatura que incorpora el enfoque de sustentabilidad y GHS en los proyectos. Se hace referencia mayormente a Reed (2009) por entregar mayores detalles en cuanto al proceso de diseño para GHS. Para una revisión detallada de procesos de diseño sustentable no sólo de edificaciones se sugiere leer a Ceschin & Gaziulusoy (2016). Otras fuentes sobre diseño sustentable que entregan información sobre soluciones de GHS, pero que no están enfocados a la descripción del proceso de diseño son Kubba (2012) y Kibert (2022).

## **TOMA DE DECISIÓN EN PROCESOS DE DISEÑO SUSTENTABLE**

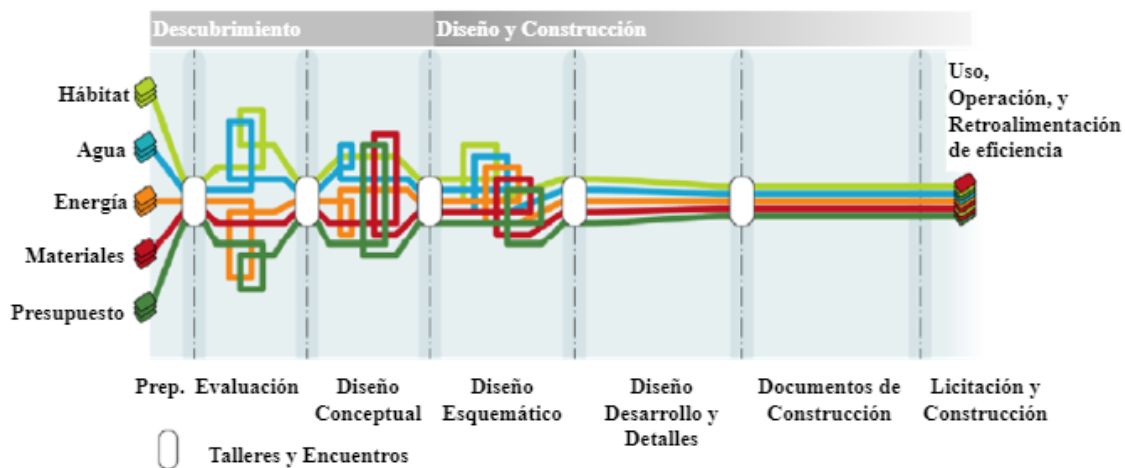
Además de las actividades de los equipos de diseño, es importante analizar la organización de estos. En la literatura existen dos tendencias principales para organizar a los equipos durante el proceso de diseño: Diseño distribuido y diseño integrado. En ambos métodos, las actividades cognitivas de los equipos son similares, sin embargo, la diferencia está en la estructura y el proceso de toma de decisiones.

En el diseño distribuido existe una jerarquía en la cual cada profesional busca objetivos específicos a su pericia para contribuir al diseño final (Visser, 2006; Kubba 2012), por lo que el proceso de toma de decisiones ocurre de manera individualmente, en grupos pequeños o en reuniones completas del equipo donde un coordinador global del diseño organiza el trabajo y los objetivos.

Por otro lado, el proceso de diseño integrado o Integrated Design Process (IDP) busca integrar a los diferentes actores en las etapas tempranas de diseño para alcanzar mejores diseños con incrementos marginales de los costos (Larsson, 2009; Kubba 2012). IDP evolucionó del programa Canadiense C-2000 y tal como describe Reed (2009) y Kubba (2012), es un enfoque que permite definir proyectos medioambiental y económicamente eficientes. Para poder alcanzar esto, la metodología IDP organiza la participación de los diversos actores en ciclos de trabajo individuales y grupales. Este enfoque integrado posee una estructura horizontal en la cual los equipos trabajan en conjunto desarrollando la solución de diseño, en la cual cada participante aporta desde su experticia (Reed, 2009). Además, expertos externos son continuamente invitados durante el proceso para agregar conocimiento y mejorar las soluciones (Visser, 2006). En esta metodología, la toma de decisiones ocurre generalmente en las reuniones grupales (Visser, 2006).

La metodología IDP utiliza mayor tiempo en las primeras fases de diseño para no aumentar el tiempo total de diseño, lo que se explica por la menor cantidad de atrasos que se producen en fases futuras por falta de definiciones y coordinaciones iniciales (Reed, 2009). Con esto, la definición de outputs para construcción comienza más tarde durante el proceso, pero requiere menos iteraciones para llegar al diseño final (Reed, 2009). La Figura 3 muestra cómo se organiza el trabajo bajo la metodología IDP.





**Figura 3.** El proceso de diseño integrado sobre el proceso de diseño distribuido. Esta figura muestra la progresión ideal del diseño en el IDP. Reed (2009) destaca que las iteraciones del diseño son fomentadas en todas las fases del proceso. Figura de Reed (2009), traducida.

Proyectos sustentables, así como también los modelos de GHS en proyectos deben ser evaluados en términos de costo eficiencia utilizando los costos totales durante el ciclo de vida completo de un proyecto (Reed, 2009; Kibert 2022). A pesar de que incorporar características sustentables en edificios puede tener un costo mayor que mantener lo tradicional en proyectos de construcción, existen definiciones sustentables, tempranas en el proceso y con equipos interdisciplinarios, que permiten eliminar y/o reducir otros sistemas (Reed 2009; Kibert 2022). Por otro lado, características sustentables en edificios pueden disminuir los costos de mantención y operación a pesar de sus mayores costos de inversión durante la construcción. Debido a que el impacto se produce durante el ciclo de vida completo del proyecto, Reed (2009) y Kibert (2022) recomiendan utilizar el valor presente neto como una forma de calcular el costo total del proyecto durante su ciclo de vida.

## DISEÑO PARA LA GESTIÓN HÍDRICA SUSTENTABLE

Enfocándose solo en modelos de GHS, existen recomendaciones para la aplicación de IDP durante el diseño de estos modelos, de acuerdo con Reed (2009) es necesario:

- Investigar y recolectar información del lugar, flujos y calidad del agua (métodos de conservación, topografía, geohidrología, suelos, napas de agua).
- Realizar un estudio de balance hídrico inicial.
- Recopilar información de los recursos hídricos y la infraestructura disponible (precipitaciones mensuales y anuales, presencia de aguas subterráneas, costos e impactos ambientales de las plantas de agua potable y alcantarillado).
- Seleccionar los criterios de evaluación.

Con esta información y buscando identificar posibles soluciones y estimar su desempeño, durante la primera sesión de trabajo grupal los equipos de diseño deben:

1. Definir los objetivos de desempeño.
2. Definir como se medirán los objetivos de desempeño.
3. Establecer las potenciales soluciones de GHS a implementar.
4. Estimar el orden de magnitud del costo de las soluciones de diseño.
5. Establecer si necesitan más información para una correcta toma de decisión, y en caso de ser necesario, como se obtendrá esta información.
6. Identificar las posibles combinaciones de componentes de GHS y evaluar su rendimiento en relación con la cantidad y calidad de agua a gestionar.

Además, existen las recomendaciones de herramientas y análisis que deben ser realizados para lograr un modelo de GHS (Reed, 2009):

- **Potencial de captura hídrica:** Estimar el monto de agua lluvia que se utilizará en la operación del proyecto y sus costos en el ciclo de vida.
- **Balance hídrico:** Estimar todos los tipos de fuentes hídricas que alimentan y salen del proyecto (aguas lluvia, aguas grises, aguas negras, agua potable y aguas de subterráneas). Este análisis se realiza utilizando hojas de cálculo y diagramas del sistema y se utilizan durante todo el proceso de diseño. Este balance ayuda a organizar, hacer seguimiento de las metas de diseño o posibles conflictos por cambios.
- **Modelamiento hídrico:** Modelamiento de las entradas y salidas del sistema.

Para un análisis correcto de estas variables es importante considerar el número de usuarios y la demanda hídrica per cápita, así como también el área de la techumbre, materiales, tipo de proyecto, ubicación del proyecto, topografía y considerar fluctuaciones en la disponibilidad de aguas lluvias por cambio climático (Reed 2009).

Existen también otros procedimientos de GHS disponibles para los diseñadores, sin embargo, estos procedimientos apuntan directamente a obtener puntajes en certificaciones y no proveen un análisis holístico para el diseño. Por ejemplo, el Leadership in Energy and Environmental Design Certification Program (LEED), requiere que los diseñadores evalúen el consumo hídrico del proyecto contra una línea base, pero el análisis solo considera el agua potable (Kubba, 2012) u sistemas de GHS sin enfocarse al proceso de diseño (Kibert 2022). Por otro lado, existen guías normativas para la obtención de permisos que solo se enfocan en control de aguas lluvias, reducción del consumo de agua potable o la reducción de aguas no tratadas (más información en US Environmental Protection Agency [US EPA] 2014a; 2014b; 2013; 2014d; Pennsylvania Department of Environmental Protection [PA DEP], 2006).

## RECOMENDACIONES

Con base a la revisión bibliográfica realizada, la correcta definición de un modelo del proceso de diseño para GHS en el sector residencial debe incluir:

*Para la organización general del proceso de diseño:*

- Etapas claramente definidas para la etapa de diseño
- Incluir al menos las siguientes etapas: Definición de requerimientos, Generación de alternativas, evaluación de alternativas.
- El proceso de diseño debe incluir iteraciones entre las diferentes etapas.

- El uso de IDP para la organización de las tareas y clara definición de responsabilidades en el equipo de diseño.
- Utilizar representaciones para transmitir de manera correcta los objetivos y diseños.
- La participación de diversos actores con conocimiento específico para el desarrollo y diseño de cada sección del proyecto.

*Para la definición del diseño:*

- La definición de requerimientos debe incluir: recopilar información y el análisis del terreno (ver PA DEP, 2006), balance hídrico inicial (Reed, 2009) y la definición de las metas de GHS (Ej. Estándar LBC)
- La generación de alternativas debe incluir: seleccionar los componentes de GHS, crear combinaciones de componentes de GHS y estimar el balance hídrico de esas combinaciones. Reed (2009) y PA DEP (2006) proveen una lista de componentes de GHS para gestión hídrica al interior y exterior de edificaciones que pueden ser usadas inicialmente. El proceso de selección debe comenzar por los componentes de GHS no estructurales y ser seguido por los estructurales.
- El balance hídrico debe incluir la cuantificación de aguas y su calidad para combinaciones de componentes de GHS

*Para la evaluación del diseño:*

- Las actividades de evaluación deben ser multicriterio considerando criterios económicos y ambientales. Se recomienda realizar la evaluación económica utilizando análisis de costos del ciclo de vida y el valor presente neto.

## **BRECHAS**

La revisión bibliográfica nos entrega una mirada comprensiva de cómo los profesionales llevan a cabo el diseño incorporando la GHS. Sin embargo, así como se detectaron recomendaciones, también se detectaron brechas que no fueron analizadas en esta revisión, y que deben ser estudiadas para poder definir correctamente sistemas de GHS:

- Qué profesionales del equipo desarrollan el diseño de qué componente de GHS (ej. Sistema de captura de aguas lluvias, sistema de jardines de lluvias, entre otros)
- Quiénes son los actores claves para la GHS.
- Qué información no está disponible durante el proceso de diseño u que otras fuentes de información son consultadas por el equipo.
- Quién coordina los balances hídricos y quien los lleva a cabo.
- Cuáles son los principales problemas y barreras encontradas durante el proceso de diseño de GHS que impactan en las decisiones de diseño. Cuantos de estos problemas y barreras son relacionadas con la normativa.
- ¿Son considerados los beneficios económicos y ambientales durante el proceso de diseño?
- ¿Hasta que etapa del proyecto se introducen cambios en la GHS?
- ¿El análisis de costos del ciclo de vida es usado en etapas tempranas del diseño o solo costos de construcción son incluidos en la toma de decisiones?
- ¿Qué información es compartida y cómo entre los profesionales?

- Dependiendo del tipo de proyecto, es también deseable conocer las prácticas sustentables más usadas, los conceptos y componentes en GHS conocidos y usados por los profesionales y las herramientas usadas en el proceso de diseño.

Es necesario realizar estudios empíricos para cerrar las brechas existentes y poder proponer un modelo que represente el diseño para la GHS en las edificaciones residenciales.

## CONCLUSIONES

Diseñar para la GHS en edificaciones impone desafíos a los equipos de profesionales en la toma de decisiones. Las buenas prácticas de diseño para el manejo sustentable de agua urgen la incorporación de los requerimientos ambientales, técnicos y normativos, y a la vez fomentan la colaboración interdisciplinaria y la participación de todos los actores implicados tempranamente en el proceso. Sin embargo, en la literatura no encontramos una descripción completa de cómo se lleva a cabo este proceso. Escasa literatura trata simultáneamente los modelos del proceso de diseño y la gestión hídrica sostenible (GHS), e incluye al sector residencial. Las publicaciones revisadas nos proveen de una representación cognitiva del proceso de diseño que permite sentar las bases de la estructura general y las interacciones entre las actividades, pero no abordan los aspectos específicos del diseño para la GHS. El modelo IDP y otras fuentes complementan el proceso, sin embargo, aún quedan brechas principalmente relacionadas a cómo la información es compartida, cuáles son las herramientas usadas, las estrategias y el peso de los diferentes criterios en la toma de decisiones para la GHS. Además, esta investigación no incorpora la revisión de las herramientas utilizadas en el proceso de diseño. Las brechas detectadas y las herramientas utilizadas son parte del trabajo a continuar para el desarrollo de un modelo del proceso de diseño para la GHS en edificaciones residenciales. Conocer y modelar este proceso en detalle nos permitirá apoyar a los equipos a integrar cambios, estrategias y/o herramientas que los guíen con mayor certeza en proyectos residenciales que busquen la gestión hídrica sustentable.

## REFERENCIAS

- Akin, Ö. (1986). *Psychology of architectural design*. London: Pion.
- Akin, Ö. (1994). *Psychology of early design in architecture*. Carnegie Mellon University, Engineering Design Research Center.
- Akin, Ö. (2001). Variants in design cognition. In *Design knowing and learning: Cognition in design education* (pp. 105-124). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-008043868-9/50006-1>
- Akin, Ö. (2002). Case-based instruction strategies in architecture. *Design Studies*, 23(4), 407-431. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00046-1](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00046-1)
- Akin, Ö. (2009). Variants and invariants of design cognition. En *About Designing* (pp. 171-192). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429182433>
- Ball, L. J., & Christensen, B. T. (2009). Analogical reasoning and mental simulation in design: two strategies linked to uncertainty resolution. *Design Studies*, 30(2), 169-186. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.12.005>

- Ball, L. J., & Christensen, B. T. (2019). Advancing an understanding of design cognition and design metacognition: Progress and prospects. *Design Studies*, 65, 35-59. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.10.003>
- Ball, L. J., Lambell, N. J., Reed, S. E., & Reid, F. J. (2001). The exploration of solution options in design: A 'Naturalistic Decision Making' perspective. *Designing in Context, Delft University Press, Delft, The Netherlands*, 79-93.
- Barbosa, A. E., Fernandes, J. N., & David, L. M. (2012). Key issues for sustainable urban stormwater management. *Water research*, 46(20), 6787-6798. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.029>
- Bhat, M., Shumaiev, K., Hohenstein, U., Biesdorf, A., & Matthes, F. (2020, March). The evolution of architectural decision making as a key focus area of software architecture research: A semi-systematic literature study. In *2020 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA)* (pp. 69-80). IEEE. DOI: [10.1109/ICSA47634.2020.00015](https://doi.org/10.1109/ICSA47634.2020.00015)
- Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design studies*, 47, 118-163. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002>
- Cross, N. (1984). Introduction to Part One: The management of design process. *Developments in design methodology*, 1-7.
- Dorst, K., & Cross, N. (2001). Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution. *Design Studies*, 22(5), 425–437. [https://doi.org/10.1016/s0142-694x\(01\)00009-6](https://doi.org/10.1016/s0142-694x(01)00009-6)
- Dorst, K. (2006). Design problems and design paradoxes. *Design Issues*, 22(3), 4–17. <https://doi.org/10.1162/desi.2006.22.3.4>
- Dorst, K., & van Overveld, K. (2009). Typologies of design practice. In *Philosophy of technology and engineering sciences* (pp. 455-487). North-Holland. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-51667-1.50021-5>
- Eastman, C. M. (1969). Cognitive processes and ill-defined problems: a case study from design. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 669–690. <http://ijcai.org/Proceedings/69/Papers/060.pdf>
- Eastman, C. M. (1970). On the analysis of intuitive design processes en Moore, GT (ed) *Emerging methods in environmental design and planning*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Eilouti, B. H. (2009). Design knowledge recycling using precedent-based analysis and synthesis models. *Design Studies*, 30(4), 340–368. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2009.03.001>
- Feria, M., & Amado, M. (2019). Architectural design: Sustainability in the decision-making process. *Buildings*, 9(5), 135. <https://doi.org/10.3390/buildings9050135>
- Gero, J. S., Kannengiesser, U., & Pourmohamadi, M. (2014). Commonalities across Designing: Empirical results. In *Springer eBooks* (pp. 265–281). [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9112-0\\_15](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9112-0_15)
- Goel, V., & Pirolli, P. (1992). The structure of Design Problem Spaces. *Cognitive Science*, 16(3), 395–429. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1603\\_3](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1603_3)
- Howard, T., Culley, S., & Dekoninck, E. (2008). Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. *Design Studies*, 29(2), 160–180. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.01.001>
- Institution of Civil Engineers [ICE]. (2009). *Civil Engineering Procedure (6th Edition)* - Thomas Telford Publishing. <https://doi.org/10.1680/cep.35249>

- International Living Future Institute [ILFI]. (2019). *Living Building Challenge Standard 4.0*. [https://living-future.org/wp-content/uploads/2019/08/LBC-4\\_0\\_v13.pdf](https://living-future.org/wp-content/uploads/2019/08/LBC-4_0_v13.pdf) (Recuperado 24 de julio de 2020)
- Julio 2024 - Living Building Challenge 4.1 Program Manual - Julio 2024. (n.d.). International Living Future Institute. <https://www.manula.com/manuals/living-future/living-building-challenge-4-1/1/en/topic/april-2024-lbc>
- Kazakci, A. O., Gillier, T., Piat, G., & Hatchuel, A. (2015). Brainstorming vs. creative design reasoning: a theory-driven experimental investigation of novelty, feasibility and value of ideas. *Design Computing and Cognition'14* (pp. 173-188). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14956-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14956-1_10)
- Kibert, C. J. (2022). *Sustainable construction: green building design and delivery*. Fifth edition. John Wiley & Sons. ISBN: 978-1-119-70644-1
- Kubba, S. (2012). *Handbook of Green Building Design and Construction: LEED, BREEAM, and Green Globes*. Waltham, MA: Butterworth-Heinemann. eBook Collection (EBSCOhost), EBSCOhost (Recuperado 27 de mayo de 2014). ISBN: 978-0-12-810433-0
- Larsson, N. (2009). The integrated design process; history and analysis. *International initiative for a sustainable built environment*. <https://www.iisbe.org/system/files/private/IDP%20development%20-%20Larsson.pdf>
- Le Dantec, C.A., & DO, E. Y. L. (2009). The mechanisms of value transfer in design meetings. *Design Studies*, 30(2), 119–137. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.12.002>
- Lloyd, P., & Scott, P. (1994). Discovering the design problem. *Design Studies*, 15(2), 125–140. [https://doi.org/10.1016/0142-694x\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0142-694x(94)90020-5)
- Lubowski, R. N., Vesterby, M., Bucholtz, S., Baez, A., & Roberts, M. J. (2006). Major uses of land in the United States, 2002. [10.22004/ag.econ.7203](https://doi.org/10.22004/ag.econ.7203)
- Luck, R. (2009). ‘Does this compromise your design?’ Interactionally producing a design concept in talk. *CoDesign*, 5(1), 21–34. <https://doi.org/10.1080/15710880802492896>
- Maher, M. L., Poon, J., & Boulanger, S. (1996). Formalising design exploration as Co-Evolution. In *Springer eBooks* (pp. 3–30). [https://doi.org/10.1007/978-0-387-34925-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-0-387-34925-1_1)
- Martin, G., Détienne, F., & Lavigne, E. (2007). Negotiation in collaborative assessment of design solutions: an empirical study on a Concurrent Engineering process. *arXiv preprint cs/0702006*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.cs/0702006>
- McDonnell, J., & Lloyd, P. (2014). Beyond specification: A study of architect and client interaction. *Design Studies*, 35(4), 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2014.01.003>
- Novotny, V., Ahern, J., & Brown, P. (2010). *Water Centric Sustainable Communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment*. <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470949962>
- O'Connor, T. P., Rodrigo, D., & Cannan, A. (2010, noviembre). Total water management: The new paradigm for urban water resources planning. In *World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change* (pp. 3251-3260). [https://doi.org/10.1061/41114\(371\)335](https://doi.org/10.1061/41114(371)335)
- Our Living Future Projects Map. (n.d.). International Living Future Institute. <https://living-future.org/our-living-future-map/#mapAnchor>
- Pennsylvania Department of Environmental Protection [PA DEP]. (2006) *Pennsylvania Storm water Best Management Practices Manual*. Recuperado 4 de noviembre de 2012. <http://www.elibrary.dep.state.pa.us/dsweb/View/Collection-8305>

- Ramani, K., Ramanujan, D., Bernstein, W. Z., Zhao, F., Sutherland, J., Handwerker, C., Choi, J., Kim, H., & Thurston, D. (2010). Integrated sustainable life cycle design: a review. *Journal of Mechanical Design* 132(9): 091004. <https://doi.org/10.1115/1.4002308>
- Reed, B. (2009). *The integrative design guide to green building: Redefining the practice of sustainability* (Vol. 43). John Wiley & Sons.
- Reymen, IMMJ., Dorst, K., & Smulders, FEHM. (2007). A closer look at Co-evolution in design practice. In J. McDonnell, & P. Lloyd (Eds.), *Design meeting protocols* (pp. 29-41). s.n.
- Rodrigue, J. P. (2020). *The geography of transport systems*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429346323>
- Simon, H. A. (1969). *The Sciences of the artificial*. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA0510217X>
- Simon, H. A. (1975) Style in design. *Spatial synthesis in computer-aided building design*, 9: 287-309. [https://iiif.library.cmu.edu/file/Simon\\_box00065\\_fld05025\\_bdl0001\\_doc0001/Simon\\_box00065\\_fld05025\\_bdl0001\\_doc0001.pdf](https://iiif.library.cmu.edu/file/Simon_box00065_fld05025_bdl0001_doc0001/Simon_box00065_fld05025_bdl0001_doc0001.pdf)
- Ullman, D. G., Dieterich, T. G., & Stauffer, L. A. (1988). A model of the mechanical design process based on empirical data. *AI EDAM/Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 2(1), 33–52. <https://doi.org/10.1017/s0890060400000536>
- US EPA. U.S. Environmental Protection Agency. (2013, 31 septiembre). *Guidance, Manuals, and Policies. Septic Systems (Decentralized/Onsite Systems)* <http://water.epa.gov/infrastructure/septic/manuals.cfm>
- US EPA. U.S. Environmental Protection Agency. (2014a, 13 junio). *Design and Implementation Resources. Water: Green Infrastructure*. [http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi\\_design.cfm](http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi_design.cfm).
- US EPA. U.S. Environmental Protection Agency. (2014b, 03 octubre). *Low Impact Development (LID)*. <http://water.epa.gov/polwaste/green/#guide>.
- US EPA. U.S. Environmental Protection Agency. (2014d, 11 diciembre). *WaterSense. Saving Water Indoors*. [http://www.epa.gov/watersense/new\\_homes/saving\\_inside\\_and\\_out.html#tabs](http://www.epa.gov/watersense/new_homes/saving_inside_and_out.html#tabs)
- Visser, W. (2006). *The cognitive artifacts of designing*. Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.1201/9781482269529>
- Visser, W. (2009). Design: one, but in different forms. *Design Studies* 30(3), 187-223. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.11.004>
- Wynn, D. C., & Clarkson, P. J. (2018). Process models in design and development. *Research in engineering design*, 29, 161-202. <https://doi.org/10.1007/s00163-017-0262-7>
- Zunder, Thomas, H. (2021). 2. A semi-systematic literature review, identifying research opportunities for more sustainable, receiver-led inbound urban logistics flows to large higher education institutions. *European Transport Research Review*, doi: 10.1186/S12544-021-00487-1