

Exploring the relationship between lean design methods and C&D waste reduction: three case studies of hospital projects in California

Explorando la relación entre los métodos de diseño lean y la reducción de residuos de construcción y demolición: tres estudios de caso de proyectos hospitalarios en California

Burcu Salgin ^{1*}, Paz Arroyo ^{**}, Glenn Ballard ^{***}

* Erciyes University, Kayseri. TURQUÍA

** Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. CHILE

*** University of California, Berkeley. ESTADOS UNIDOS

Fecha de Recepción: 04/06/2016

Fecha de Aceptación: 08/09/2016

PAG 191-200

Abstract

The lean ideal is to deliver customer value without waste. Traditional sustainability outcomes, which are attributed to the pursuit of the lean ideal in construction projects, consisted of economic outcomes instead of environmental outcomes. This paper explores how lean design methods can reduce construction and demolition (C&D) waste and contribute to environmental sustainability. Three case studies are conducted to analyze three hospital projects in California that employed lean tools and methods during design. These three cases demonstrate that C&D waste reduction (e.g., recycling construction waste, reducing material use, and enhancing recovery after use) can be indirectly achieved by economic waste reduction. Testable hypotheses were generated from the case study findings and were proposed as future research topics.

Keywords: Lean design, construction and demolition waste, solid waste reduction

Resumen

El ideal del concepto Lean es entregar valor al cliente sin desperdiciar nada. Los resultados sustentables tradicionales, que persiguen el ideal Lean en los proyectos constructivos, son más bien resultados económicos en vez de resultados ambientales. Este artículo estudia cómo los métodos de diseño eficientes pueden reducir el volumen de residuos de construcción y demolición y contribuir a la sustentabilidad del medio ambiente. Se realizaron tres estudios de caso a fin de analizar tres proyectos hospitalarios en California que emplearon herramientas y métodos Lean durante la fase de diseño. Estos tres casos demostraron que la reducción de residuos de construcción y demolición (por ej., reciclar desperdicios de la construcción, reducir el uso de materiales y promover la recuperación después del uso) se puede lograr indirectamente a través de la reducción del desperdicio económico. Se generaron hipótesis comprobables a partir de los hallazgos de los estudios de caso, las que se propusieron como temas para futuras investigaciones.

Palabras clave: Diseño Lean, residuos de construcción y demolición, reducción de desperdicios

1. Introducción

La industria de la construcción produce impactos importantes en el medio ambiente, tales como la liberación de gases nocivos a la atmósfera, el gran uso de agua y la generación de residuos de construcción y demolición. La Agencia de Protección Ambiental Escocesa (2014) define los residuos de construcción y demolición generados por la construcción como "...materiales derivados de la construcción, remodelación, reparación o demolición de edificios, puentes, pavimentos y otras estructuras y del uso de energía, materiales y mano de obra que no agrega valor al proceso de construcción".

Los residuos de construcción y demolición se consideran un problema grave en las industrias constructivas de los países desarrollados y se están transformando en un problema creciente en otras regiones del mundo. Según la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA), la construcción, renovación, uso y demolición de edificios constituyen aproximadamente dos tercios de todos los

residuos sólidos no industriales (US EPA 2003).

En comparación con los desperdicios domésticos, el desecho seguro de residuos de construcción y demolición de la construcción es difícil, puesto que pueden contener materiales peligrosos, tales como asbesto, metales pesados, compuestos orgánicos persistentes y compuestos orgánicos volátiles (Esin y Coşgun, 2006; Arslan et al., 2012). Los residuos de construcción y demolición son una amenaza para la salud humana y el medio ambiente.

Actualmente, muchos países están sufriendo el problema de tener volúmenes cada vez mayores de residuos de construcción y demolición y cada vez menos capacidades en los vertederos. En los países en desarrollo, se generan 500-1000 kg/habitante/año de desperdicios derivados de la construcción y demolición (Kartam et al., 2004); esta cantidad constituye entre el 10 y el 30% de las áreas de vertederos del mundo (Begum et al., 2006).

Se han desarrollado diversos modelos de gestión de residuos, con el objeto de reducir los desperdicios sólidos. Estos modelos incluyen la prevención, reducción, reutilización, reciclado, entierro y eliminación de desechos.

¹ Autor de correspondencia:

Assistant. Professor, Dept. of Architecture, Erciyes University, Kayseri, Turkey
E-mail: bsalgin@gmail.com



Las estrategias más efectivas son la prevención y reducción de los desperdicios. Estas estrategias se pueden aplicar a la industria de la construcción, especialmente durante las fases de diseño de las obras. En este artículo también se discuten los residuos de construcción y demolición desde la perspectiva de la prevención.

El ideal *Lean* es proporcionar un producto a la medida, con un propósito específico, que se pueda entregar instantáneamente sin desperdiciar nada y que elimine todos los tipos de residuos (ambiental, social y económico) a lo largo del proceso. Este ideal se persigue a través de la aplicación de principios y métodos que incluyen los métodos de diseño *Lean*. Este estudio introduce los principales métodos de diseño *Lean* y busca establecer las relaciones directas e indirectas entre estos métodos y la prevención/reducción de residuos de construcción y demolición. Se analizan tres estudios de caso de proyectos hospitalarios en California, que aplicaron métodos de diseño *Lean* en el proceso de diseño y construcción, con el fin de entender cómo estos métodos pueden reducir los residuos de construcción y demolición.

2. Interrogantes y métodos de investigación

Este artículo se propone responder las siguientes interrogantes de investigación: 1) ¿Los métodos de diseño *Lean* pueden reducir los residuos de construcción y demolición? 2) ¿Cómo se pueden reducir los residuos de construcción y demolición con los métodos de diseño *Lean*? Para intentar responder a estas preguntas, se revisó la literatura sobre el diseño *Lean*, la reducción de residuos de construcción y demolición, y se llevaron a cabo tres estudios de caso sobre complejos proyectos hospitalarios.

En la literatura se identificaron estudios sobre la práctica *Lean* y su relación con los beneficios económicos (por ej., Ballard 2000, 2009; Ballard et al., 2008; Howell y Ballard, 1994) y otros estudios que discuten cómo la construcción puede ser más sustentable con los principios *Lean*. Sólo se encontró un estudio que identifica una clara conexión entre la práctica *Lean* y la reducción de residuos de construcción y demolición (Agyekum et al., 2013). Agyekum et al. (2013) estudian esta conexión durante la fase de construcción, mientras que este estudio busca establecer los beneficios de aplicar métodos *Lean* durante la fase de diseño. Dentro de la literatura revisada, no se descubrió ninguna relación entre los métodos de diseño *Lean* y la reducción de residuos de construcción y demolición. Un gran número de

estudios se centra en cómo mejorar la gestión de residuos y las actividades de reciclado en la obra; sin embargo, ningún estudio ha intentado abordar el efecto de los métodos de diseño en la generación de residuos.

Para entender el impacto de los métodos de diseño *Lean*, fue necesario evaluar obras reales que aplicaran estos métodos. Por esta razón, esta investigación utilizó la metodología de estudio de casos basada en métodos cualitativos, los que investigan el por qué y cómo del problema de investigación y no se limitan al qué, dónde o cuándo. Por ende, se requirió un mayor número de muestras más pequeñas, pero bien definidas comparado con las muestras grandes (Flyvbjerg, 2011). En consecuencia, el análisis se basa en tres estudios de caso detallados, los que fueron desarrollados según las pautas de Yin (1994). Este estudio intenta comprender cómo y por qué el diseño *Lean* puede contribuir a reducir los residuos de construcción y demolición. No se trata de demostrar una hipótesis, pero se espera que surjan hipótesis demostrables de esta fase del estudio.

Se seleccionaron tres proyectos de hospitales en California debido a su complejidad técnica y organizativa, la participación de múltiples especialistas y grupos de interés y la implementación de múltiples métodos de diseño *Lean*. Las obras seleccionadas corresponden a: Sutter Medical Center Castro Valley (terminado), Temecula Valley Hospital (terminado), y Van Ness and Geary Campus (en construcción).

Las dos primeras obras se terminaron de construir antes del 2014. La tercera, Van Ness and Geary Campus, se encontraba en las primeras fases de construcción a finales del 2014, pero entrega información valiosa sobre el impacto de los métodos de diseño *Lean* en los residuos de construcción y demolición.

Estos proyectos hospitalarios son obras totalmente nuevas en California (no son renovaciones ni ampliaciones de instalaciones ya existentes) que utilizaron métodos de diseño *Lean*. La primera obra está ubicada en un suburbio de San Francisco, la segunda está ubicada en una zona rural del Sur de California y la tercera está ubicada en el centro de la ciudad de San Francisco. Todas las obras deben cumplir con la legislación de California, que exige que todo hospital de cuidados intensivos debe estar inmediatamente operativo luego de un terremoto, en conformidad con el Estado de California, a través de la Oficina Estatal de Planificación y Desarrollo de la Salud (OSHPD, por sus siglas en inglés). Por lo tanto, el diseño de los proyectos debió ser coordinado con los revisores de la OSHPD.

Tabla 1. Recolección de datos de los estudios de caso

Nº	Método de recolección de datos	Nombre de la obra	Empleador	Cargo
1	Correo electrónico	Sutter Medical Center Castro Valley	DPR Construction	Contratista
2	Correo electrónico	Sutter Medical Center Castro Valley	DPR Construction	Contratista
3	Correo electrónico	Temecula Valley Hospital	DPR Construction	Jefe de obras
4	Entrevista	Van Ness and Geary Campus	HerreroBoldt Partnership	Director de proyecto
5	Entrevista	Van Ness and Geary Campus	HerreroBoldt Partnership	Coordinador de diseño sustentable
6	Correo electrónico	Van Ness and Geary Campus	SmithGroup JJR	Gerente

Los datos se recolectaron a través de entrevistas y análisis de documentos. La Tabla 1 enumera los distintos profesionales entrevistados (arquitectos, contratistas y propietarios). Asimismo, se recolectaron y analizaron datos de informes, documentos de diseño e investigaciones publicadas sobre estas obras. En cuanto a los proyectos constructivos, los autores se contactaron con los ingenieros y arquitectos vía correo electrónico. En el caso del Van Ness and Geary Campus, los investigadores realizaron numerosas entrevistas personales. El objetivo de las entrevistas y análisis de documentos era entender 1) los métodos *Lean* utilizados para diseñar el hospital y 2) cómo los métodos de diseño *Lean* reducían los desperdicios sólidos. Se prefirió el uso de preguntas abiertas en las entrevistas, para garantizar que las respuestas de los participantes no estuvieran restringidas ni guiadas. Las preguntas de la entrevista fueron las siguientes: ¿Qué herramientas *Lean* usaron los diseñadores durante la etapa de diseño? El enfoque *Lean* tiene por objeto reducir todos los tipos de desperdicios. ¿La reducción de residuos de construcción y demolición fue una prioridad durante la etapa de diseño? ¿Puede mencionar algunos ejemplos de reducción del volumen de residuos de construcción y demolición? ¿Cree usted que estas reducciones estaban relacionadas con los métodos de diseño *Lean*?

3. Modos de reducir los residuos sólidos

Se identificaron las siguientes maneras de reducir residuos de construcción y demolición como los métodos más relevantes para los objetivos de esta investigación:

- a) Reducir la cantidad necesaria de materiales, por ej., reducir el tamaño de un edificio que entrega el mismo servicio.
- b) Seleccionar materiales que reduzcan su impacto negativo en el medio ambiente, por ej., elegir materiales constructivos que sean fáciles de reciclar.
- c) Reducir la cantidad de materiales desperdiciados; es decir, las sobras, la diferencia entre la cantidad total de materiales comprados y la cantidad total de materiales consumidos.
- d) Aumentar la vida útil de los edificios, por ej., diseñar los edificios con conceptos de flexibilidad y readecuación, lo que disminuye la cantidad de residuos de construcción y demolición que se genera a lo largo del tiempo.
- e) Otros medios que sufren un impacto menor por las decisiones de diseño de productos y procesos, por ej., reciclado de materiales sobrantes.

a), b) y d) claramente se ven afectados por el diseño de un edificio, mientras que c) puede disminuir la cantidad de materiales desperdiciados de distintas formas, como por ejemplo, (1) prefabricar y preensamblar en condiciones de taller, (2) prevenir discrepancias en las dimensiones y (3) mejorar la calidad de la construcción, lo que redundará en menos modificaciones. Los dos primeros enfoques pertenecen al ámbito de la tecnología más que a la gestión de diseño, mientras que el tercero parece depender de procesos separados y efectivos relativos a la fabricación en taller y el montaje en obra; es decir, un diseño de proceso que es distinto del diseño de producto. Se retomará esta distinción entre los objetos de diseño en las recomendaciones para estudios futuros.

4. Métodos de diseño Lean

Los métodos de diseño *Lean* provienen del pensamiento *Lean*, en el que el valor y el desperdicio son los conceptos básicos. El valor se define de la siguiente manera: El valor permite la realización de un objetivo. El valor es una propiedad que no es inherente a un objetivo y se relaciona con los objetivos del cliente. Según Ohno (1988), existen siete tipos de desperdicios: defectos, demoras (causadas por el tiempo de espera para que terminen otras actividades antes de que un trabajo pueda empezar), sobreprocesamiento (fabricar productos con características que no son valoradas por el usuario) y sobreproducción (más allá de lo necesario, conservar un inventario excesivo, transporte innecesario de materiales y movimientos innecesarios de las personas). Se propone la siguiente definición: Desperdicio es cualquier cosa con un costo de cualquier índole, cuya eliminación no reduce el valor entregado.

El pensamiento *Lean* es una filosofía que se basa en el *Lean* ideal y los principios considerados para el logro de ese ideal. La aplicación de los principios puede incluir herramientas o métodos que se originan fuera de la comunidad *Lean* y que han sido adaptados adecuadamente. Muchos de los métodos *Lean* en el área de la manufactura han sido aplicados a las fases de construcción de los proyectos (Howell y Ballard, 1994; Huovila y Koskela, 1998), por ej., empoderando a los trabajadores directos para 'detener la línea' en vez de permitir que los productos defectuosos avancen más allá de su puesto de trabajo. Sin embargo, pocos estudios discuten los métodos de diseño *Lean* en los proyectos de construcción. En este estudio, se identificaron nueve métodos de diseño *Lean* que abarcan un amplio rango de funciones; por ej., diseño, objetivos, planificación y control, y toma de decisiones y documentación. Estos métodos se describen en la siguiente sección.

(1) Gestión integrada de proyectos (IPD, Integrated Project Design) es una instancia específica del sistema de entrega de un proyecto *Lean*; se basa en un contrato multilateral que es firmado por todos los miembros clave del equipo del proyecto (arquitecto, consultores técnicos clave, contratista general y contratistas de especialidades clave), incluido el propietario. El IPD potencia la colaboración y la transparencia a través del proceso de diseño y permite una perspectiva y contabilización completas del edificio y de las interacciones entre los sistemas de edificación, lo que es importante en el diseño del edificio. Según Howell y Lichtig (2010), la práctica *Lean* y la IPD agregan "Una visión de la gestión de la producción en la forma en que el trabajo de diseño y la construcción se hacen actualmente". Además, la IPD y el *Lean* requieren que el equipo se comprometa abiertamente en un esfuerzo explícito para alinear el sistema operativo con una estructura organizacional colaborativa y con los términos comerciales que apoyen la optimización del proyecto a través del uso de contratos relacionales.

(2) El Diseño a Valor Objetivo (TVD, Target Value Design) es un método colaborativo en el que las partes interesadas son introducidas en el proceso de diseño desde las etapas iniciales. Juntos con el equipo de diseño, definen los objetivos y las condiciones que regirán el diseño del edificio. A diferencia del proceso tradicional, en el que un diseño es producido y financiado en el TVD, el diseño es manejado dentro de los costos y tiempos permitidos por el cliente.



(3) **Set-based Design (SBD)** es un método en el que los diseñadores en forma colaborativa exploran las alternativas y las mantienen abiertas hasta el último momento posible para reducir la iteración de diseño negativa (Ballard, 2000). Este método contrasta con el Point-based Design en el que se selecciona una alternativa tempranamente en el proceso de diseño (por ej., una altura piso a cielo/ piso a piso) y posteriormente alguien más abajo en la cadena de diseño prueba que es inviable (por ej., un ingeniero mecánico /contratista no puede colocar los ductos en el espacio intersticial). Esta desventaja da como resultado cambios tardíos en el proceso de diseño, lo que requiere rehacer el trabajo por parte de varios especialistas. Con las iteraciones negativas se pierde menos tiempo (modificaciones), por lo que se dispone de más tiempo para explorar y desarrollar alternativas que son más complejas de implementar y que requieren de más colaboración.

(4) **Selección por ventajas** (CBA, Choosing by Advantages) es un método para seleccionar entre alternativas cuando son importantes muchos factores para evaluar y diferenciar las alternativas. Este método concuerda muy bien con el pensamiento *Lean* (Arroyo et al., 2012). Es un método de toma de decisión que complementa la metodología de diseño basada en la metodología de diseño dinámico (Dynamic Set-based Design) a través de sus diferentes etapas (Parrish, 2007; Thanopoulos, 2012). Este método de toma de decisión colaborativo ayuda al equipo del proyecto a explorar más alternativas y a identificar las ventajas entre las alternativas.

(5) **Hojas de Informes A3** (A3 Reports) son formatos para presentar propuestas o informes de estado de situación que se generan vía un proceso de construcción consensuada, que apunta hacia una comprensión global de la situación actual (hechos) y hacia la experimentación y aprendizaje sistemáticos.

(6) **El sistema del último planificador** (LPS, Last Planner System) desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell, es un sistema de planificación de la producción que está diseñado para producir un flujo de trabajos predecibles y un aprendizaje rápido de la programación, diseño, construcción y puesta en marcha de los proyectos (Ballard, 2000).

(7) **Mapeo de la cadena de valor** (VSM, Value Stream Mapping) es una herramienta *Lean* ampliamente usada para identificar los desperdicios y las oportunidades de mejoramiento del proceso. Según Rother y Shook (2003), “el VSM es usado por los empleados del sistema de producción de Toyota para representar el estado real, futuro o “ideal” en el proceso de desarrollo de los

planes de implementación para instalar sistemas *Lean*. Una cadena de valor comprende todas las acciones que se requieren actualmente para llevar un producto a través de los principales flujos que son esenciales para cada producto.

(8) **Estudios de primera prueba** (FRS, First-run Studies) tiene una herramienta para diseñar procesos repetitivos que cumplan ciertos criterios (por ej., criterios de seguridad, calidad, tiempo y costo) y prueba los diseños durante la ‘primera prueba de funcionamiento’, esto es, la primera ejecución del proceso. “Colaborativamente” significa que el diseño y la prueba son realizados con las personas responsables de ejecutar los procesos. Los procesos no repetitivos son diseñados y probados usando prototipos virtuales y físicos.

(9) **Modelado de Información para la Construcción** (BIM, Building Information Modelling) es una herramienta que ayuda al pensamiento *Lean* proporcionando una plataforma para verificar el diseño y su valor para el cliente. El BIM permite la coordinación entre las especialidades y la evaluación de las estrategias de construcción durante el diseño.

De esta lista de métodos, la estructura organizacional, los términos comerciales y los métodos de gestión están destinados a provocar un efecto sistémico en las actitudes, cultura y desempeño. En consecuencia, el impacto de estos métodos en los resultados, como la reducción de residuos de construcción y demolición, rara vez se limita al uso de un solo método, sino que al impacto combinado de la filosofía *Lean*. La finalidad de estas herramientas no se limita a la reducción de los desechos sólidos, sino que además incluye la optimización del diseño y la reducción indirecta de los desechos sólidos, como se aprecia en los siguientes estudios de casos.

5. Estudio de casos

Esta sección presenta tres proyectos para hospitales donde se emplearon los nueve métodos de diseño *Lean* descritos en la sección anterior, durante la fase de diseño. Las características de los tres proyectos de hospital al norte de California se resumen en la Tabla 2.

Cabe señalar que los proyectos terminados han tenido mucho éxito en términos de satisfacción del propietario y logro de los objetivos, y de ajuste al presupuesto y plazos de término (Tabla 3).

Tabla 2. Características de los estudios de casos

Características	Sutter Medical Center Castro Valley (terminado)	Temecula Valley Hospital (terminado)	Van Ness and Geary Campus (en construcción)
Camas	130 camas	140 camas	274 camas (ampliable a 304 camas)
Pies cuadrados	230.000 pie ²	177.506 pie ²	740.000 pie ²
Costo	US \$320 millones	US \$151 millones	US \$1 mil millones
Duración de la construcción	36,3 meses	30 meses	48 meses

Tabla 3. Estudio de casos

Resultados del proyecto	Sutter Medical Center Castro Valley	Temecula Valley Hospital	Van Ness and Geary Campus
A tiempo	Si, el proyecto se terminó 6 meses antes (Conwell, 2012)	Si	En construcción
Dentro del presupuesto	Si	Si, el proyecto fue terminado con un 40% bajo el costo de mercado, esto es, el costo por cama de cuidado intensivo en hospital de California	En construcción
Certificaciones obtenidas	LEED Plata	Sin certificación	LEED Plata

En la siguiente sección, se describen los tres estudios de casos, incluyendo los detalles sobre los métodos de diseño *Lean* empleados y la evidencia de la reducción de los desechos sólidos.

5.1 Sutter Medical Center, Castro Valley

5.1.1 Antecedentes

Este proyecto de hospital se encuentra ubicado en Castro Valley, California, EE.UU. Según DPR Construction, el contratista general, fue el primero en la industria en usar un contrato IPD firmado por 11 partes, en el que el propietario y diez participantes se obligaban a colaborar contractualmente, usando un contrato de Acuerdo de Forma Integrada (IFoA, Integrated Form of Agreement) (DPR Construction, 2014a). En casos anteriores, solo el arquitecto y el contratista general firmaban el acuerdo y formaban el equipo nuclear del IPD. Lo novedoso de este contrato es que, por primera vez, 11 compañías tomaron el riesgo en equipo, compartiendo riesgos y ganancias.

Los resultados para los métodos de diseño *Lean* en este proyecto son los siguientes (Conwell, 2012):

- El proyecto fue terminado con seis meses de anticipación y dentro del presupuesto, lo que permitió a las 11 firmas de diseño y construcción que firmaron el contrato multilateral con Sutter Health obtener, prácticamente, las máximas utilidades. Estas ganancias estuvieron sobre el promedio de proyectos similares, con menor riesgo (Sutter Health corrió el riesgo de los sobrecostos que excedían el fondo de utilidades).

- La productividad comercial mejoró entre un 10 y un 20% en comparación con las bases de referencia, según el tipo de actividad.
- La utilización del trabajo durante la construcción promedió el 70%, lo que indica que el 70% del trabajo pagado abarcaba la producción directa en comparación con los tiempos de espera y de búsqueda de herramientas, materiales o información

5.1.2 Evidencia en la reducción de los residuos de construcción y demolición

Revisando en la literatura y entrevistas (Tabla 1), se encontró evidencia de mayor reciclaje y prevención de discrepancias dimensionales. Según dos gerentes de proyectos de DPR Construction, este resultado fue posible por la colaboración entre los equipos del proyecto y la coordinación con otros socios.

Mayor reciclaje. Según Ferma Corporation, la agencia responsable de las tareas de manejo de los residuos en el proyecto, el equipo del proyecto logró una alta tasa de reciclaje en abril de 2010 durante la fase de construcción. La cantidad de desechos verdes reciclada alcanzó el 100% y la de construcción mixta y escombros un 91%. La Tabla 4 muestra las tasas de reciclaje de Ferma Corporation para los residuos de los productos que ingresan a la obra.

Tabla 4. Tasas de reciclaje durante la fase de construcción en 2010

Productos entrantes	Tasas de reciclaje	Toneladas de productos entrantes	Toneladas recicladas
Desechos verdes	100%	103.39	103.39
Construcción mixta y escombros	91%	109.77	99.89

Al término de la fase de construcción, el proyecto ganó dos puntos LEED en la categoría de "Materiales y Recursos/Gestión de Residuos de Construcción [MRc2](#)" (LEED-NC, 2009). Se requiere de una tasa mínima del 75% para obtener dos puntos y lograr un 78% de contenido reciclado (DPR Waste Management Report).

El reciclaje se produce en la fase de construcción de un proyecto y se ve mínimamente influenciado por las decisiones tomadas durante la fase de diseño. Sin embargo, contribuye a la reducción de los residuos de construcción y demolición y se incluyó en el informe del estudio de casos.

Cantidad reducida de residuos: Evitando discrepancias en las dimensiones. El proyecto usó el máximo potencial del BIM. Equipos con funciones cruzadas revisaban periódicamente los modelos 3D para lograr las mejores soluciones. Se identificaron aspectos del diseño y se corrigieron previamente usando los modelos BIM completamente integrados. El BIM aumentó la precisión de la información de diseño, lo que permitió dedicarlo directamente a la fabricación y preensamblaje. Se percibieron mejoras en cuanto a que se realizaron menos cambios y hubo menos demoras en la programación (Khemlani, 2009). El BIM permitió una planificación detallada, mejoró la logística y la estimación basada en el modelo para generar estimados rápidos y proporcionarles al

equipo un acceso frecuente a la información de los costos en tiempo real.

Tanto el diseño y el proceso de modelado del proyecto, en forma colaborativa, hizo posible construir desde el modelo y que redundó en ahorros de costos y tiempos a través de un mayor uso de componentes prefabricados. Según Conwell (2012), el proyecto logró resultados decisivos en la "construcción de acuerdo al modelo", por ej., la concordancia entre un plan como se construyó y un modelo MEP fue del 97%. El plan como se construyó fue medido por escaneo láser, lo que produjo Nubes de Punto que fueron convertidas en un modelo y comparadas con el modelo de diseño. Construir así de apegado al modelo indica que las discrepancias dimensionales fueron detectadas y evitas en la fase de diseño, lo que reduce las modificaciones y los residuos de construcción y demolición por pérdida de material durante la fase de construcción.

Durante el análisis, el equipo detectó que las componentes en el modelo BIM no estaban dimensionadas de manera precisa. La detección y modificación ocurrió antes de que el diseño fuera presentado a la OSHPD, evitando pérdidas de tiempo y de recursos durante el diseño y/o construcción (Alarcon et al., 2011). Eastman et al. (2011) entregan una descripción detallada de este estudio de caso y el uso colaborativo del BIM bajo el sistema IPD. Los investigadores sugieren que este resultado muestra el



potencial del BIM y el involucramiento temprano de las partes interesadas, lo que es apoyado por la gestión integrada del proyecto.

5.2 Temecula Valley Hospital

5.2.1 Antecedentes

Este hospital se encuentra ubicado en Temecula, al norte de San Diego y al sur de Los Angeles dentro del Condado de Riverside. El propietario es Universal Health Services, Inc., una de las compañías más grandes en administración hospitalaria de los EE.UU.

El propietario estaba muy confiado en el éxito de este proyecto, como lo manifestó en una entrevista previa a la construcción, "Este método (refiriéndose al método de diseño *Lean*) permite que el propietario, arquitecto y contratista participen en los procesos de diseño y toma de decisiones, enfocados en las necesidades presente y futuras de la atención médica de la comunidad sur del Condado Riverside. Esta colaboración tuvo como resultado un programa de construcción acelerada y costos reducidos. Ciertas componentes fueron prefabricadas fuera de obra para minimizar la mano de obra y los tiempos de instalación, y otras tareas fueron compartidas como por ejemplo, levante, limpieza, manejo y distribución de materiales. DPR y Turner Construction Company son líderes en el uso de este naciente método de construcción *Lean*." (Miller, 2011).

5.2.2 Evidencia de la reducción de residuos de construcción y demolición

En la literatura y entrevistas (Tabla 1), se encontró que se redujo la cantidad de material y se mejoró la calidad de la construcción. De acuerdo a las entrevistas, el ambiente colaborativo logrado por los métodos de diseño *Lean* permitió desarrollar alternativas más innovadoras.

Reducción de la cantidad de material necesario. El equipo de diseño ofreció una solución alternativa tipo 'hotel' que permitió una reducción de 1,3 pies de la altura entre los pisos. No solo se ahorró dinero sino también materiales (Laski et al., 2014). Este enfoque contribuyó a la reducción de los residuos de construcción y demolición.

Este resultado fue posible porque el equipo de diseño fue capaz de mejorar la innovación, claramente basada en el uso de los métodos *Lean*, como la IPD, que alinea a los intereses comerciales de los participantes; el TVD, que ayuda a los diseñadores a entregar diseño de valor para el cliente; SBD, que ayuda a los diseñadores a considerar un conjunto de alternativas y a defenderse de un diseño inadecuado; la CBA, que aumenta la transparencia en la toma de decisiones; y los Informes A3, que ayudan a comunicar y documentar las decisiones que permiten el aprendizaje continuo. La combinación de estos métodos de diseño *Lean* le permiten al equipo de diseño implementar alternativas que no son evidentes o que pueden ser imposibles de considerar en un escenario más tradicional

Reducción de la cantidad de materiales desperdiciados: Mejorando la calidad de la construcción.

Los equipos de diseño y construcción usaron el Mapeo de cadena de valor (VSM) para describir el flujo de trabajo (Figura 1). Buscaban ahorrar tiempo durante la construcción. Con esta idea, el equipo redujo no solo el tiempo sino los residuos de construcción y demolición. El mapa de cadena de valor, usado como diagrama de flujo para la administración del proyecto, les dio la seguridad a trabajadores y supervisores de que estaban coordinados con todas las partes relacionadas en cada etapa del trabajo. Dado que la secuencia de flujo de trabajo y la entrega del trabajo aprobado de los especialistas resultaron claramente identificadas, los materiales críticos solo se trasladaron cuando se necesitaron para el producto final. Este enfoque dio menos oportunidades de daños en la obra (Laski et al., 2014). La Figura 1 presenta un ejemplo del Mapa de cadena de valor usado en este proyecto para la entrega e instalación de las puertas.

Los investigadores sugieren que este resultado fue posible gracias a la implementación directa del VSM, que permite al equipo de diseño diseñar el proceso y el producto. Además, la colaboración temprana en el diseño de los contratistas y especialistas permite un diseño más detallado del proceso y del producto. En este caso, el mapeo del proceso o VSM no sólo evita el daño del material sino que reduce las modificaciones y aumenta la productividad

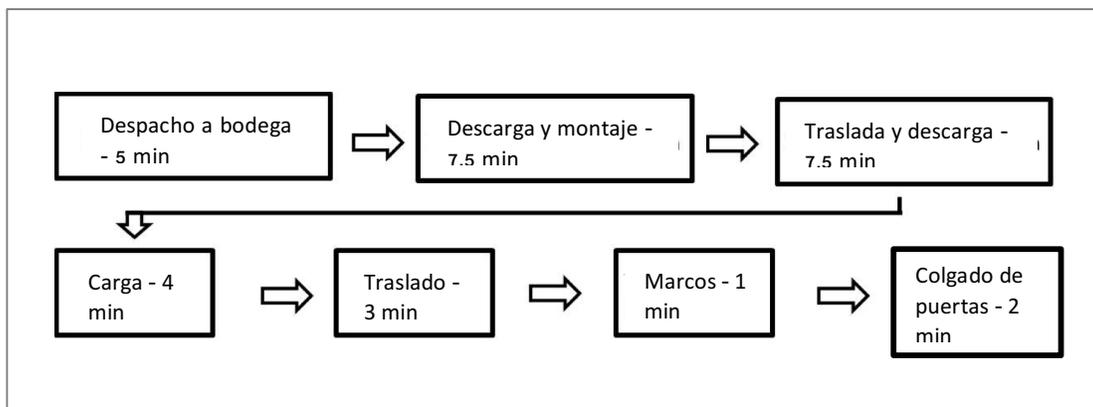


Figura 1. Mapa de cadena de valor: Entrega e instalación de puertas (adaptación de Laski et al., 2014)

5.3 Van Ness and Geary Campus

5.3.1 Antecedentes

Este proyecto se ubica en San Francisco, California. Originalmente, se conoció como Cathedral Hill Hospital (CHH), un hospital urbano, de reemplazo, de 1,2 millones de pies cuadrados (555 camas) ubicado en San Francisco. En 2014, se redujo su tamaño a 740.000 pies cuadrados (274 camas) y se le cambió de nombre a Van Ness and Geary Campus (SmithGroupJJR, 2012). El Van Ness and Geary Campus busca consolidar los servicios críticos en una sola ubicación, con servicios complementarios entregados por los restantes tres Campus de San Francisco.

Trabajando con Sutter Health y HerreroBoldt como contratistas generales, SmithGroup Architects diseñó este enorme y complejo hospital usando los métodos de diseño *Lean*. El nuevo hospital se organizó alrededor de centros de cuidado integral, más que en los tradicionales departamentos, que mejoran la entrega de cuidados al paciente, mejorando la eficiencia de los espacios, el flujo de trabajo y la productividad (SmithGroupJJR, 2012).

Aplicando los métodos de diseño *Lean*, el equipo de diseño usó un enfoque progresivo de la gestión integrada de proyectos (IPD) donde se integró al cliente, arquitectos, ingenieros, gerente de construcción y contratistas especializados (SmithGroupJJR, 2012). El proyecto está siendo diseñado para cumplir con la clasificación LEED Plata que lo convertirá en uno de los mayores proyectos hospitalarios que busca la certificación LEED. A diferencia de los dos casos anteriores, este proyecto persigue deliberadamente los objetivos de sustentabilidad ambiental, incluyendo la reducción de residuos de construcción y demolición.

5.3.2 Evidencia de la reducción de residuos de construcción y demolición

En la literatura y entrevistas (Tabla 1), se encontraron evidencias sobre la reducción de las cantidades necesarias de materiales, selección de materiales que reducen su impacto negativo sobre el medioambiente y aumentan la vida útil de las edificaciones. Como la construcción del proyecto Van Ness and Geary Campus comenzó el año 2014, solo cabe dar una explicación de los potenciales ahorros durante la construcción. En las entrevistas, se percibe que aun cuando el equipo de diseño acordó que se enfocarían principalmente en ahorrar dinero y tiempo, el seguimiento metódico del ideal *Lean* redujo otros desperdicios, incluidos los residuos de construcción y demolición. Se presentan ejemplos en los que se espera que la aplicación de los métodos de diseño *Lean* reduzca el volumen de residuos de construcción y demolición.

Reducción de la cantidad necesaria de materiales. En esta categoría, se encontraron los siguientes cuatro ejemplos de reducción de los residuos de construcción y demolición.

El primer ejemplo de reducción de materiales está relacionado con la decisión de diseño respecto de la altura entre las losas de piso. El equipo de diseño deseaba minimizar la altura entre las losas (pisos) para ahorrar dinero y tiempo. Con el enfoque colaborativo empleado en el proyecto para todas las especialidades importantes, se pudo innovar y mejorar el diseño. En los hospitales tradicionales, la altura entre las losas es de 4,6 a 4,9 metros; sin embargo, en el CHH, es menor a 4,3 metros. Esto no solo ahorró dinero y tiempo sino que además, materiales y recursos, sino que tuvo un efecto indirecto en la prevención/reducción de residuos de construcción y demolición (Lostuvali, 2012).

El segundo ejemplo está relacionado con la innovación en el diseño estructural. El equipo de diseño estructural usó los métodos de diseño *Lean* para desarrollar un edificio antisísmico. Se estableció un marco de estudio de Primera prueba virtual, usando la modelación computacional para modelar y probar un diseño del proceso (Nguyen et al., 2009) y diversas alternativas para la estructura. Una de las aplicaciones incluía la selección para la instalación de muros viscosos (VDW, Viscous Damping Wall). Los VDW presentaban un desafío para la coordinación de las operaciones logísticas y en terreno; por lo tanto, el equipo deseaba explorar diferentes métodos para su instalación. La instalación de los VDW requería la coordinación entre los ingenieros estructurales, el fabricante de los VDW, la compañía de transporte, el subcontratista para levante y del proveedor de la estructura de acero.

Los muros viscosos (VWD) son una invención antisísmica japonesa que no se había empleado con anterioridad en los Estados Unidos. A medida que se avanzaba en el diseño estructural, el ingeniero estructural validaba su predicción de que los muros viscosos producirían un sistema estructural muy eficiente con un comportamiento antisísmico mejor que el de los sistemas antisísmicos convencionales (Ballard et al., 2008). El principio de trabajo de este dispositivo antisísmico redujo el peso del edificio. Si se hubiera diseñado el sistema estructural usando los métodos tradicionales, el peso total del edificio hubiera sido de 30 lb/pie². Con los muros viscosos, el peso del edificio fue de 20 lb/pie², logrando una reducción neta en el tonelaje de acero en el rango de las 4000 -7000 ton (Lostuvali, 2012), y, en consecuencia, ahorrando dinero y tiempo, además de materiales y recursos.

El tercer ejemplo se refiere a la reducción del espacio total necesario para maximizar el valor y la calidad del cuidado de los pacientes hospitalizados. Los cambios en las instalaciones institucionales deben ir de la mano del establecimiento de prioridades organizativas y de planificación para lograr una mayor eficiencia. El equipo de diseño aplicó principios *Lean* en la elaboración de planos para el hospital, que rompan con los límites tradicionales, tanto físicos como funcionales, entre los distintos departamentos, favoreciendo una plataforma de servicios integrada (Hannon, 2010).

El programa apuntaba a mejorar el cuidado de los pacientes, como también el flujo de trabajo y la productividad a través del sistema, integrando los departamentos en torno a cada punto de servicio. Estas mejoras también eliminaron el exceso de capacidad y de espacios de apoyo, lo que redujo la cantidad total de espacio requerido (Hannon, 2010). La estrategia promueve el "hacer más con menos". El enfocarse en el nivel de diseño permite la creación de espacios más eficientes con menos materiales. Como resultado, se espera un efecto positivo en la reducción de residuos de construcción y demolición.

El cuarto ejemplo trata sobre la elección del material acústico. Por lo general, los hospitales son lugares ruidosos. HerreroBoldt Partners colaboró con los especialistas en acústica Shen Milsom and Wilke (SM&W), la sociedad de armazones KHS&S, SmithGroup Architects and Serious Materials para diseñar el hospital más costo-eficiente que cumpliera con los requisitos sonoros del proyecto.

El proyecto tiene tres clases de muros; cada uno satisface distintos requisitos acústicos: clase de transmisión sonora STC 40, 45 y 50. Una STC más alta indica que el tabique proporciona una mejor atenuación del sonido transmitido por el aire. El muro diseñado originalmente con la



clase STC 45 para el CHH tenía tres capas de placas de cartón-yeso estándar. El muro de clase STC 40 se diseñó con cuatro capas de placas de cartón-yeso estándar. Sin embargo, dado que el especialista acústico quería un diseño más convencional, se eligieron los paneles QuietRock ES. Se ensayaron los dos diseños con el fin de comparar el desempeño entre las tres placas de cartón-yeso estándar y un panel QuietRock ES y entre cuatro placas de cartón-yeso estándar y dos paneles QuietRock ES. En esta comparación, los diseños con uno y dos paneles QuietRock ES se desempeñaron tan bien o mejor que los montajes multicapa de yeso, obteniendo beneficios de costo. HerreroBoldt, SM&W, KHS&S y SmithGroup decidieron en conjunto utilizar QuietRock ES basado en sus ventajas (Estudio de caso QuietRock, 2006). Esta decisión arrojó los siguientes resultados: Reducción de 101.339 pie en placas de cartón-yeso despachadas a la obra ya que se reemplazó las placas de yeso dobles. Reducción de las inspecciones de los tornillos de las placas de yeso, ya que se usó una placa de yeso. Seis contenedores menos de 30 yardas (23 metros) para retirar los restos de yeso. Finalmente, se aumentó en 1.300 pies² (120 m²) el espacio habitable del edificio, reemplazando los tabiques multicapa de yeso por paneles QuietRock ES.

Los investigadores proponen que este resultado fue posible gracias a que el equipo de diseño tuvo más espacio para la innovación durante la etapa de diseño. Como se mencionó anteriormente, en este proyecto, la convergencia de los grupos de interés estuvo respaldada por la Gestión integrada de proyectos (IPD).

Además, el equipo de diseño pudo innovar y tomar decisiones apoyadas de modo colaborativo mediante el uso de TVD, SBD, CBA y A3. Al utilizar el diseño a valor objetivo (TVD), el equipo de diseño define la convergencia, establece objetivos y el proyecto se dirige de manera proactiva hacia éstos. Las necesidades y requisitos definen el conjunto de alternativas de diseño (espacio de diseño) donde debe hacerse una elección. Se utilizan las preferencias para elegir entre distintas alternativas dentro del espacio de diseño. El equipo de diseño identifica alternativas aceptables, aunque no óptimas, para evitar tomas de decisión apresuradas. Esta estrategia de diseño basado en el SBD entrega más tiempo para examinar otras alternativas y tomar decisiones de manera colaborativa utilizando la CBA. La CBA ayuda al equipo de diseño a diferenciar alternativas considerando múltiples factores. Las decisiones están documentadas como problemas solucionados en un informe A3, el cual incluye un análisis CBA que plantea que se elija una alternativa específica. Esta práctica evita las repeticiones o cambios en las decisiones, puesto que se incluyeron grupos de interés relevantes en el proceso de toma de decisiones y la lógica de las decisiones se realizó por consenso. Los investigadores sugieren que este método de diseño *Lean* apoya la innovación, lo que redundó en mejores proyectos, incluyendo la reducción de los residuos de construcción y demolición.

Si bien muchas de estas soluciones de diseño no incluyen los métodos *Lean*, se cree que el uso de métodos de diseño *Lean* facilita el proceso de diseño. Además, en este estudio de caso, el uso del sistema del último planificador aumentó la confiabilidad del flujo de trabajo y en la fase de diseño dio tiempo para la reflexión y la creatividad.

Elección de materiales que reducen su impacto negativo en el medio ambiente. Este ejemplo se refiere al diseño pensado en el desmantelamiento. El equipo de diseño escogió materiales que se pueden desarmar en vez de materiales unidos por

adhesivos. Como consecuencia, este enfoque tiene un efecto directo en la prevención/reducción de residuos de construcción y demolición (Brunel, 2012) y permite el reciclaje de materiales de construcción. La elección de los materiales es parte importante del diseño. En este caso, el equipo de diseño tenía la intención consciente de reducir los residuos de construcción y demolición una vez terminado el ciclo de vida del proyecto. Los investigadores sugieren que los métodos de diseño *Lean* apoyaron la innovación y selección de materiales por medio del SBD y la CBA.

Aumento de la vida útil de los edificios. La expectativa de vida para el CHH es de 40 años. El equipo de diseño acordó que el hospital no sería completamente demolido al término de su ciclo de vida, debido a su diseño único y flexible. Por ejemplo, el equipo de diseño escogió materiales que son fáciles de reemplazar o mejorar. Como resultado, este enfoque tiene un efecto directo en la prevención/reducción de residuos de construcción y demolición (Lostuvali, 2012) (Brunel, 2012) y permite la conversión a usos alternativos en vez de demoler.

Los investigadores pudieron identificar una relación entre los métodos de diseño *Lean* y el resultado. Debido a la convergencia entre los grupos de interés de este caso, el equipo de diseño pudo diseñar otorgando el mejor valor para el propietario, basado en sus necesidades futuras, en vez de recurrir al método de diseño más rápido y más caro.

6. Discusión

Estos estudios de caso sobre métodos de diseño *Lean* arrojaron los siguientes ejemplos de reducción de residuos de construcción y demolición:

- Cuando los equipos de diseño no lograron disminuir los residuos de construcción y demolición directamente, se implementaron métodos innovadores durante la fase de diseño para reducir costos y plazos que resultaron en reducciones indirectas de residuos de construcción y demolición.
- La colaboración fue clave para lograr la coordinación e innovación necesarias para modificar las típicas técnicas de diseño empleadas en proyectos hospitalarios. El uso de métodos de diseño *Lean* resultó crucial para permitir la innovación e interacción entre los diseñadores de las instalaciones de Castro Valley, Temecula Valley y Van Ness and Geary. Las obras hospitalarias son complejas; por lo tanto, hay un potencial significativo para cometer errores durante la fase de diseño. Este tipo de proyectos requieren de un alto nivel de coordinación y comunicación para evitar cometer errores. Según Osmani et al. (2008), una mala coordinación y comunicación entre las partes durante la fase de diseño (información tardía, requisitos de última hora del cliente, distribución y revisión lenta de los planos) ocasiona residuos de construcción y demolición durante la construcción. Por ende, se propone que los métodos de diseño *Lean* mejoren la coordinación y colaboración, ya que disminuye los residuos de construcción y demolición.
- El uso de métodos de diseño *Lean* tales como (1) IPD, (2) TVD, (3) SBD, (4) CBA, (5) A3, (6) LPS, (7) VSM, (8) FR5 y (9) BIM ayudó al equipo de diseño a innovar y

desarrollar soluciones que disminuyeron los costos, plazos y residuos de construcción y demolición.

Por medio de estos estudios de caso no es posible entregar una relación causal directa entre los métodos de diseño *Lean* y la reducción de residuos de construcción y demolición. No obstante, se proponen hipótesis demostrables:

1. Las reducciones de costo y tiempo a través de los métodos de diseño *Lean* reducen a su vez los residuos de construcción y demolición. Si los diseñadores adoptan un enfoque consciente con respecto a la prevención/reducción de residuos de construcción y demolición usando métodos de diseño *Lean*, se pueden lograr mayores reducciones de residuos de construcción y demolición.
2. Los métodos IPD, TVD, SBD, CBA y A3 realzan y respaldan la innovación, lo que le permite al equipo de diseño implementar nuevas ideas y mejorar en todas las áreas, reduciendo indirectamente las cantidades de material y los residuos de construcción y demolición.
3. Un método sistematizado para tomar decisiones con el SBD, donde muchas opciones se analizan en conjunto, y el CBA, donde las decisiones se toman de manera transparente y por consenso, le permite al equipo de diseño obtener mejores resultados en la reducción de los residuos de construcción y demolición.
4. Un método sistematizado para planificar y controlar por medio de Last Planner System® aumenta la confiabilidad del flujo de trabajo y otorga más tiempo para pensar, diseñar y planificar el trabajo, ya que detecta los errores iniciales y reduce las modificaciones. La detección de errores durante la fase de diseño disminuye los errores durante la construcción disminuyendo los residuos de construcción y demolición causados por las modificaciones o errores.
5. Aplicar la filosofía de mejoramiento continuo con el VSM permite al equipo de diseño evaluar sistemáticamente lo que se puede mejorar, lo que también afecta la reducción del volumen de residuos de construcción y demolición al disminuir las modificaciones y aumentar la productividad.
6. Probar ideas nuevas con el FRS permite resultados más precisos y una mayor confianza en la aplicación de nuevos materiales y sistemas que pueden reducir los residuos de construcción y demolición.
7. El BIM utilizado en una configuración IPD proporciona un mejor detallado de los elementos durante la fase de diseño. Los errores en el detallado se identificaron como una fuente importante de desperdicio durante el proceso de diseño. Por lo tanto, un mejor detallado también ayuda a reducir los residuos de construcción y demolición.
8. La prefabricación fue altamente utilizada en los tres casos, la que contó con el apoyo del nivel de colaboración logrado con la implementación de métodos de diseño *Lean*. La literatura indica que los componentes prefabricados permiten disminuir los residuos de construcción y demolición, porque las dimensiones estándar y las unidades prefabricadas ayudan a evitar los cortes de materiales en obra. Dainty y Brooke (2004) reportaron que el uso de

prefabricación fuera de la obra ocasiona un mejor control de desperdicios y daños. Se sugiere que los métodos de diseño *Lean* apoyen la prefabricación, mejorando la confianza del equipo de diseño con respecto al diseño de productos y procesos que faciliten la reducción de los residuos de construcción y demolición.

7. Conclusiones

Este artículo ayuda a entender cómo los métodos de diseño *Lean* pueden disminuir los residuos de construcción y demolición y constituye un primer paso para comprender los potenciales beneficios de los métodos de diseño *Lean* en la reducción de los residuos sólidos. Nuestro estudio de casos introdujo los métodos de diseño *Lean* y presentó ejemplos de su impacto indirecto en la reducción de los residuos de construcción y demolición.

Los casos entregaron evidencia sobre la reducción de los residuos de construcción y demolición como resultado de los métodos de diseño *Lean*:

- Reducción de los materiales necesarios. En Temecula y Van Ness and Geary Campus, el equipo de diseño redujo la altura de los pisos. En el Van Ness and Geary Campus, el equipo de diseño redujo la cantidad de acero del edificio, el tamaño total del edificio en relación al uso previsto y el material de los tabiques, lo que provocó una reducción de materiales. Estos resultados fueron consecuencia de decisiones de diseño que se tomaron para entregar valor al cliente dentro de sus condiciones de satisfacción, que es el enfoque adecuado para la reducción de desperdicios de todo tipo, porque el desperdicio tiene relación con el valor para el cliente; sin embargo, este argumento exige un análisis más riguroso y completo.
- Elección de materiales que reduzcan su impacto negativo en el medio ambiente. En el Van Ness and Geary Campus, el equipo de diseño eligió materiales fáciles de reciclar.
- Reducción de la cantidad de materiales desperdiciados. En Castro Valley, el equipo de diseño logró un alto nivel de detección de discrepancias en el modelo BIM durante el diseño, lo que evitó errores y modificaciones. En Temecula Valley, el equipo de diseño mejoró la calidad constructiva y evitó el daño de materiales gracias a una planificación detallada durante la construcción.
- Aumento de la vida útil de los edificios. En el Van Ness and Geary Campus, el equipo de diseño eligió materiales fáciles de reemplazar y mejorar para extender el ciclo de vida del hospital.

También se encontró evidencia de mayores tasas de reciclaje durante la construcción; sin embargo, se necesita investigación adicional para dimensionar la contribución de los métodos de diseño *Lean*.

Este estudio proporciona evidencia de diversos tipos de reducción de desperdicios sólidos, la cual fue respaldada por los métodos de diseño *Lean*. No obstante, en este estudio no se pudo demostrar una relación causal directa entre los métodos de diseño *Lean* y la reducción de los residuos de construcción y demolición. En consecuencia, se recomienda realizar otros estudios para ampliar esta investigación y probar plenamente



las hipótesis identificadas. Estas hipótesis se demuestran estadísticamente mediante la comparación de los resultados de los proyectos que utilizan métodos de diseño *Lean* versus los proyectos que no lo hacen. Sin embargo, este estudio entrega evidencia de tres estudios de caso que usan métodos de diseño *Lean* y una explicación de cómo estas herramientas pueden ayudar a reducir los residuos de construcción y demolición.

Los autores creen que las reducciones de costo y tiempo pueden disminuir indirectamente los residuos de construcción y demolición. No obstante, la reducción de los residuos de construcción y demolición con métodos de diseño *Lean* puede mejorar aún más los resultados. Desde un punto de visto más filosófico, se debe mejorar la comprensión de la interdependencia de distintos tipos de desperdicio (por ej., desperdicio económico, social y ambiental), la relación entre las herramientas de diseño *Lean* y el desperdicio ambiental,

como también la interacción entre el diseño de productos y el diseño de procesos.

8. Agradecimientos

Este artículo se elaboró dentro del marco de la investigación titulada "*The Importance of Lean Design Principles and Construction Techniques for Construction and Demolition Waste Prevention/Reduction*" de Burcu Salgin y revisado por Glenn Ballard en la Universidad de Berkeley entre junio de 2012 y septiembre de 2012. Burcu Salgin recibió el apoyo de la beca de investigación TUBITAK-BIDEB 2214 para candidatos al grado de doctor. Además, Paz Arroyo recibió fondos del Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS, (FONDAP N° 15110020) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC).

9. Referencias

- Agyekum K., Ayarkwa J. and Adjei-Kumi T. (2013), *Minimizing Materials Wastage in Construction-A Lean Construction Approach*, Journal of Engineering and Applied Science, Vol:5, Number:1.
- Arroyo P., Tommelein I. and Ballard G. (2012), *Deciding a Sustainable Alternative by 'Choosing By Advantages' in the AEC Industry*, Proc. 20th Conf. of the International Group for Lean Construction (IGLC), San Diego, CA; 41-50.
- Arslan H., Cogun N. and Salgin B. (2012), *Construction and Demolition Waste Management in Turkey*, Waste Management-An Integrated Vision, Edited by Luis Fernando Marmolejo Rebellon, ISBN 978-953-51-0795-8, Publisher: InTech. Published: October 26, 2012 under CC BY 3.0 license, in subject Environmental Sciences, Chapter 14; 313-332.
- Ballard G. (2000), *The Last Planner System of Production Control*, PhD Dissertation, Dept. of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, UK.
- Ballard G. (2009), *Current Process Benchmark for Target Value Design*, Project Production Systems Laboratory, University of California, Berkeley, Republished in leanconstructionjournal.org, 2012.
- Ballard G., Decker D. and Mack J. (2008), *Lean Construction of California Health Care*, Modern Steel Construction, November, 2008. California, USA.
- Ballard G., Yong W. K., Rahman A. and Seong-Kyun C. (2011), *Starting from Scratch: A New Project Delivery Paradigm*, Research Report 271, Construction Industry Institute, University of Texas, Austin.
- Begum R. A., Siwar C., Pereira J.J. and Jaafar A. H. (2006), *A Benefit-cost Analysis on the Economic Feasibility of Construction Waste Minimisation: The Case of Malaysia*, Resources, Conservation and Recycling, Vol. 48(1) 86-98.
- Brunel K. (2012), Interview with Kyle Brunel, 10.08.2012, San Francisco, California, USA.
- Cassidy R. (2007), *Getting Down and Dirty on C&D Waste Recycling*, Building Design & Construction, Vol. 48, Iss. 9; 9. Retrieved July 18, 2008. [http://proquest.umi.com/pqdweb?did=1306999631&sid=3&Fmt=3&clientId=63520&RQT=309&VName=PQD]
- Conwell D. (2012), *Sutter Health's Lean/Integrated Project Delivery Model*, Project Production Systems Laboratory, Workshop: Owner Strategies for Project/Program Delivery, Berkeley, CA.
- Dainty A. R. J. and R. J. Brooke (2004), *Towards improved construction waste minimisation: A need for improved supply chain integration*, Structural Survey, 22 (1), 20-29
- DPR Construction (2014a), *Sutter Health Eden Medical*. [http://www.dpr.com/projects/sutter-medical-center-castro-valley] Accessed (10 March 2014).
- DPR Construction (2014b), *UHS Temecula Valley Hospital*. [http://www.dpr.com/projects/uhs-temecula-valley-hospital] Accessed (10 March 2014).
- EPA (2003), *Municipal Construction and demolition waste in the United States: 2007 Facts and Figures*, Office of Construction and demolition waste, U.S. Environmental Protection Agency.
- Esin T. and Cogun N. (2006), *A Study Conducted to Reduce Construction Waste Generation in Turkey*, Building and Environment, Vol. 42(4) 1667-1674.
- Flyvbjerg B. (2011), *Case Study*, in Norman K. Denzin and Yvonna S. Lincoln, eds. The Sage Handbook of Qualitative Research, 4th Edition (Thousand Oaks, CA: Sage); 301-316.
- Garvin S. (2004), *Construction Waste: The Bigger Picture*, Presentation at Waste Minimisation in Construction-2004: Saving Money by Reducing Waste, Livingston. [http://www.sepa.org.uk/wastemin/events/previous/construction2004.htm] Accessed (30 December 2006).
- Government of South Australia, Department for Environment and Heritage (2005), *Annual Amount and Composition of Waste Consigned to Landfill*. [http://www.environment.sa.gov.au/reporting/human/waste/landfill.html] Accessed (02 January 2007).
- Hannon J. (2010), *The Facility Response to Health Reform*, AIA Academy Journal. [http://www.aia.org/practicing/groups/kc/AlAB086509] Accessed (09 April 2014).
- Howell G. and Ballard G. (1994), *Implementing Lean Construction: Reducing Inflow Variation*, Proc. Conference on Lean Construction, Santiago, Chile, 1994.
- Howell G., Ballard G. and Tommelein I. (2011), *Construction Engineering: Reinvigorating the Discipline*, ASCE, Journal of Construction Engineering and Management, 137 (10) 740-744.
- Howell G. and Lichtig W. (2010), *Special Report May 21, 2010*. [http://www.leanconstruction.org/pdf/SpecialReportENR.pdf] Accessed (22 January 2013).
- Huovila P. and Koskela L. (1998), *The Contribution of the Principles of Lean Construction to Meet the Challenges of Sustainable Development*, Proceedings of the Sixth Annual IGLC Meeting, August 13-15, Guarujá Beach, Brazil.
- Kartam N., Al-Mutairi N., Al-Ghusain I. and Al-Humoud J. (2004), *Environmental Management of Construction and Demolition Waste in Kuwait*, Waste Management, Vol. 24(10) 1049-1059.
- Khemlani L. (2009), *"Sutter Medical Castro Valley: Case Study of an IPD Project"*. AECBytes "Building the Future". http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2009/Sutter_IPDCaseStudy.html
- Kulatunga U., Amaratunga D., Haigh R. and Rameezdeen R. (2006), *Attitudes and Perceptions of Construction Workforce on Construction Waste in Sri Lanka*, Management of Environmental Quality: An International Journal, Vol. 17(1), pp. 57-72.
- Laski T., Lindsey K., Shipcott D., McCreedy T. and Nikolin B. (2014), *UHS Temecula Valley Hospital IFOA Results*, 95th Annual AGC Convention, 03-06 March, Las Vegas, Nevada.
- Lostuvali B. (2012), *Weekly interviews with Boris Lostuvali*, 01.07.2012-31.07.2012, Berkeley, California, USA.
- Mcgraw HILL Construction (2013), *Lean Construction, Leveraging Collaboration and Advanced Practices to Increase Project Efficiency*, Smart Market Report; 54. [http://www.leanconstruction.org/media/docs/Lean_Construction_SMR_2013.pdf] Accessed (08 April 2014).
- Miller M. (2011), *DPR-Turner Construction Company Joint Venture Breaks Ground Today on UHS Temecula Valley Hospital*, Anaheim, California.
- Nguyen H. V., Lostuvali B. and Tommelein I. D. (2009), *Decision Analysis Using Virtual First-Run Study of a Viscous Damping Wall System*, Proc. 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 17); 371-382, 15-17 July, Taipei, Taiwan.
- Ohno T. (1988), *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, ISBN 0-915299-14-3.
- Saleem O., Glass J. and Price A.D.F. (2008), *Architects' Perspectives on Construction Waste Reduction by Design*, Waste Management, 28 (7), 1147-1158
- QuietRock (2006), *Case Study: Cathedral Hill Hospital, San Francisco, California*. [http://quietrock.com/documentation-n/case-studies/func-startdown/366] Accessed (09 April 2014).
- Parrish K., Wong J. M., Tommelein I. D. and Stojadinovic B. (2007), *Exploration of Set-Based Design for Reinforced Concrete Structures*, Proc. 15th Annual Conference of the International Group For Lean Construction, East Lansing, MI, US; 213-222.
- Rother M. and Shook J. (2003), *Learning to See, Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda*, The Lean Enterprise Institute, Cambridge, MA/USA, Version 1.3.
- Salem O., Solomon J., Genaidy A. and Luegring M. (2005), *Site Implementation and Assessment of Lean Construction Techniques*, Lean Construction Journal, 2 (02) 1-21.
- SmithGroupJJR (2012), *Cathedral Hill, San Francisco, California*. [http://www.smithgroupjir.com/index.aspx?id=1292§ion=40] Accessed (10 August 2012).
- Suhr J. (1999), *The Choosing by Advantages Decisionmaking System*, Quorum Books, Westport, Connecticut.
- Thanopoulos T. (2012), *Lean Decision Making and Design Management for Sustainable Building Systems and Controls: Target Value Design, Set-Based Design, and Choosing by Advantages*, Master of Engineering Thesis, Civil and Environmental Engineering, UC Berkeley.
- LEED (2009), *New Construction and Major Renovations*, USGBC.
- Ward A., Liker J.K., Cristiano J.J. and Sobek II D.K. (1995), *The Second Toyota Paradox: How Delaying Decisions Can Make Better Cars Faster*, Sloan Management Review, Spring 1995; 43-51.
- Yin R. (1994), *Case Study Research: Design and Methods (Applied Social Research Methods)*, (2nd ed.), Beverly Hills, CA: Sage Publishing.