

Volume 3
Issue 2

B&M

BUILDING & MANAGEMENT

E-JOURNAL. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

May
August
2019



ISSN 2530-8157

GESTION EN EDIFICACION

B&M

BUILDING & MANAGEMENT

BUILDING & MANAGEMENT
MAY - AUGUST 2019
ISSN 2530-8157



BUILDING & MANAGEMENT

VOLUME 3 ISSUE 2

BUILDING & MANAGEMENT

SCIENTIFIC e-JOURNAL

VOLUME 3 ISSUE 2

MAY - AUGUST 2019



Escuela Técnica Superior de Edificación
Universidad Politécnica de Madrid

ISSN: 2530-8157

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE EDIFICACIÓN. ETSEM

Avenida de Juan de Herrera, 6, 28040 Madrid
Phone: 910675491
www.edificacion.upm.es
e-mail: bm.edificacion@upm.es

DIGITAL EDITION

www.polired.upm.es

FRONT AND BACK COVERS IMAGES

Single-family house

Construction Builder
Fernández Molina Obras y Servicios

Architect
Ignacio Quemada Sáenz-Badillos

BUILDING & MANAGEMENT is an open access scientific e-journal published every four months that accepts original, high quality and not published manuscripts. The journal scope covers all the phases of the building: project, construction, in-use, maintenance and end-of-life, and comprises a wide range of activities associated with the management of building processes where various agents in the sectors of architecture, engineering and construction participate.

GESTIÓN EN EDIFICACIÓN es una publicación científica cuatrimestral en la que se incluyen trabajos originales, de alta calidad, que no hayan sido publicados en otras revistas. Su ámbito abarca todas las fases de proyecto, ejecución, operación, mantenimiento y fin de vida del edificio y comprende un amplio abanico de actividades asociadas a la gestión de los procesos del edificio en las que participan diversos agentes de los sectores de la arquitectura, la ingeniería y la construcción.

The criteria and opinions expressed in this publication are the sole responsibility of the authors. Copyright and intellectual property rights of published documents belong to their authors, who are responsible of the published material copyright.

Los criterios y opiniones expuestos son responsabilidad exclusiva de los autores. Los derechos de autor y la propiedad intelectual del material publicado pertenecen, así mismo, a sus autores, quienes son responsables de los permisos sobre derechos del material publicado.

EDITOR - IN - CHIEF / DIRECCIÓN DE REDACCIÓN

Inmaculada Martínez Pérez Universidad Politécnica de Madrid

MANAGING EDITOR / SECRETARÍA DE REDACCIÓN

Sonsoles González Rodrigo Universidad Politécnica de Madrid

ASSOCIATE EDITORS / COMITÉ EDITORIAL

Patricia Aguilera Benito Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Francisco de Borja Chávarri Caro Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Gregorio García López de la Osa Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Julián García Muñoz Universidad Politécnica de Madrid, Spain
María de las Nieves González García Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Carolina Piña Ramírez Universidad Politécnica de Madrid, Spain
María Isabel Prieto Barrio Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Mercedes Valiente López Universidad Politécnica de Madrid, Spain

EDITORIAL ADVISORY BOARD / COMITÉ CIENTÍFICO

Antonio Baño Nieva Universidad de Alcalá, Spain
Roberto Barrios Corpa Intemac, Spain
Xavier Brioso Universidad Católica Pontificia de Perú, Lima, Perú
Daniela Brizuela Valenzuela Universidad Central de Chile, Santiago, Chile
Álvaro Cerezo Ibarrondo Escuela Vasca EVETU del IVAP, Bizkaia, Spain
Alfonso Cobo Escamilla Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Miguel de Diego Elvira IDOM, Spain
Luis de Pereda Fernández Eneres / Instituto Europeo de Innovación, Spain
Emmanuel Dufresnes Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Strasbourg/
Ministère de la Culture et de la Communication, France

Jesús Esteban Gabriel Grupo SGS, Madrid, Spain
Ignacio Fernández Solla ARUP, Spain
José Antonio Ferrer Tevar CIEMAT, Spain
George Govaere Vicarioli Universidad Costa Rica, Costa Rica
Helena Granados Menéndez Consejo Arquitectos/ Comisión Europea
Louis Gunnigan Dublin Institute of Technology, Ireland
Sara Gutiérrez González Universidad de Burgos, Spain
Héctor Hernández López Universidad Central de Chile, Santiago, Chile
Marta Kosior-Kazberuk Bialystok University of Technology, Poland
Sandra Llorente Monleón Conspace. Vía Célere, Spain
Oscar López Zaldivar Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Fernando Machado Martín UNE. Asociación Española de Normalización, Spain
Fernando Martín Consuegra Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
M^a Dolores Martínez Aires Universidad de Granada, Spain
Francisco J. Martínez Montesinos Universidad Católica de Murcia, Spain
Juan Manuel Medina Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia
M^a del Pilar Mercader Moyano Universidad de Sevilla, Spain
Trevor Mole Property Tectonics/Salford University, Manchester, UK
Fernando Moral Andrés Universidad Nebrija, Madrid, Spain
M^a Isabel Pérez Millán Universidad Católica de Murcia, Spain
Rudy Piedra Mena Universidad Costa Rica, Costa Rica
Carlos J. Pampiega Project Management Institute Madrid, Spain
Mara Rodríguez Hermida Instituto Tecnológico de Galicia / BREAM, Spain
Ángel Rodríguez Saiz Universidad de Burgos, Spain
María Segarra Cañamares Universidad de Castilla la Mancha, Spain
Begoña Serrano Lanzarote Instituto Valenciano de Edificación/
Universidad Politécnica de Valencia, Spain

Acerta, Madrid, Spain
Patricia del Solar Serrano Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Ricardo Tondero Caballero Universidad de Castilla la Mancha, Spain
Nelia Valverde Gascueña Universidad Politécnica de Madrid, Spain
Amparo Verdú Vázquez

SUMMARY

EDITORIAL: ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION SECTOR

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN _____	1
Carlos J. Pampliega	

ARTICLES

DECLARATION OF PERFORMANCE (DOP) AND CE MARKING OF CEMENT MORTARS MADE WITH RECYCLED STEEL WASTE SYSTEMS

DECLARACIÓN DE PRESTACIONES (DOP) Y MARCADO CE DE MORTEROS DE CEMENTO FABRICADOS CON RESIDUOS DE ACERÍA VALORIZADOS _____	6
Isabel Santamaría-Vicario, Sara Gutiérrez-González, Verónica Calderón-Carpintero & Ángel Rodríguez-Saiz	

REVIEW OF HEALTH AND SAFETY MANAGEMENT BASED ON BIM METHODOLOGY

REVISIÓN DE LA GESTIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD BASADA EN LA METODOLOGÍA BIM _____	16
Antonio J. Aguilar, María L. de La Hoz, María Dolores Martínez-Aires & Diego P. Ruíz	

CASE STUDY ARTICLES

THE CITYFIED METHODOLOGY FOR CITY RENOVATION AT DISTRICT LEVEL

LA METODOLOGÍA DE CITYFIED PARA LA RENOVACIÓN URBANA A ESCALA DISTRITO _____	23
Estefanía Vallejo, Cristina Criado, Eneko Arrizabalaga, Giulia Massad & Ali Vasallo	

BIM INTEROPERABILITY WITH REVIT2015 AND BPS WITH DESIGNBUILDER. A CASE STUDY FOR AN EXISTING BUILDING INTEROPERABILIDAD ENTRE BIM CON REVIT2015 Y BPS CON DESIGNBUILDER. ESTUDIO DE CASO EN UNA EDIFICACIÓN EXISTENTE _____

_____	34
Leónidas Fernández-Antón, Jessica López-Palomar, Fernando Martín-Consuegra, Carmen Alonso & Ignacio Oteiza	

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) TO MANAGE DESIGN AND CONSTRUCTION PHASES OF PERUVIAN PUBLIC PROJECTS

BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) PARA LA GESTIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN _____	48
DE PROYECTOS PÚBLICOS PERUANOS Jose Salinas & Guillermo Prado	

OPINION ARTICLES

AN IMPROVEMENT IN CONSTRUCTION PLANNING: LAST PLANNER SYSTEM®

UNA MEJORA EN LA PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN: EL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR (LAST PLANNER SYSTEM®) _____	60
Miguel Angel Alvarez-Pérez, Manuel Soler-Severino & Eugenio Pellicer	

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

71

DIGITAL EDITION

A digital version of this issue is available to readers, accessible and downloadable at <http://polired.upm.es/index.php/bm/issue/archive> of the journal.

Existe a disposición de los lectores una versión digital del presente número, accesible y descargable en: <http://polired.upm.es/index.php/bm/issue/archive> of the journal.

EDITORIAL

BUILDING & MANAGEMENT

MAY - AUGUST 2019

<http://dx.doi.org/10.20868/bma.2019.2.3917>

CARLOS J. PAMPLIEGA

BUILDING & MANAGEMENT

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CONSTRUCTION SECTOR

La Inteligencia Artificial (IA) puede sacar una gran ventaja del análisis de grandes cantidades de datos, y la construcción es un sector en el que, además del elemento constructivo, también generamos una valiosa información en forma de datos que rara vez se reutiliza. Usando datos recopilados de modelos BIM, simulaciones, e incluso a través de elementos físicos como sensores dentro de las construcciones ya terminadas, podemos transformar el proceso de diseño o, al menos, innovar con cada nuevo proyecto de construcción. IA nos ofrece una nueva perspectiva desde la que imaginar cómo poder aprovechar la información existente, los datos, para optimizar las distintas alternativas de diseño a través de algoritmos. Este hecho provocará la oportunidad de cambiar la forma en que nos relacionamos y trabajamos, y nos relacionamos con la realidad del sector para todos estos profesionales sustituidos por la tecnología.

Como se comprueba a través de los distintos números de esta publicación, los profesionales del sector de la construcción estamos adaptando de forma cada vez más generalizada herramientas y marcos de trabajo más colaborativos como *Open BIM*, *Lean Construction*, *Last Planner System*, *Integrated Project Delivery*, etc. En la misma medida, estos nuevos instrumentos se hacen presentes en oficinas, despachos y obras gracias a la democratización o uso extensivo de los desarrollos tecnológicos procedentes de otros sectores. La eliminación de barreras para el acceso generalizado a la tecnología hace que su uso esté siendo extendido.

Artificial Intelligence (AI) can take great advantage of the analysis of large sets of data, and in the construction sector, besides the construction element, we also generate a valuable information in the form of data, which is rarely ever used.

Using data collected from BIM models, simulations, as well as through the physical elements as sensors in finished buildings, we can transform the design process or, at least, innovate in each new construction project. AI provides a new perspective from which we can benefit from the existing information, the data, to optimize the different design alternatives through algorithms.

This will bring about the opportunity to change the way we relate with each other and how we work, as well as with how we relate to the reality of the sector considering all the workers replaced by technology.

As it is evidenced by different volumes within this publication, the professionals of the construction sector are adapting in a more generalized way, tools and frameworks that are more collaborative, such as *Open BIM*, *Lean Construction*, *Last Planner System*, *Integrated Project Delivery*, etc. To the same extent, these new instruments appear in offices and construction sites, thanks to the democratization or extended use of technological development coming from other sectors. The removal of barriers blocking a generalized access to this technology has triggered an increasing of its use.

La tecnología está influyendo en casi todas las industrias, y en el campo de la construcción y el diseño está empezando a adoptar todos estos avances. Ya no nos resulta extraño sobrevolar las obras con un dron, visualizar una promoción antes de que esté construida con realidad virtual, o escoger el mejor escenario en base a predicciones hechas por Inteligencia Artificial.

Una de las tecnologías que más está impactando por las posibilidades futuras en todo el proceso constructivo es la Inteligencia Artificial-IA. La IA puede sacar una gran ventaja del análisis de grandes cantidades de datos, y la construcción es un sector en el que, además del elemento constructivo, también generamos una valiosa información en forma de datos que rara vez se reutiliza.

La Inteligencia Artificial viene asociada a una cadena de términos conocidos como el algoritmo, *Machine Learning* y automatización, que generan en los profesionales un temor hacia lo desconocido. En muchos campos, no solo en la industria de la construcción, existe un verdadero temor por la IA: ¿Se volverán las máquinas serán más inteligentes que los humanos? Según Eleni Vasilaki, profesora de neurociencia computacional en la Universidad de Sheffield, ese miedo está fuera de lugar. "En última instancia, solo porque la IA pueda aprender, no podemos concluir realmente que de repente aprenderá todos los aspectos de la inteligencia humana y volviéndose más astuta", dice, y agrega que debemos asegurarnos de que usamos estas tecnologías de manera beneficiosa. "El aprendizaje automático y la inteligencia artificial son herramientas. Se pueden usar de manera correcta o incorrecta, como todo lo demás. Es la forma en que se utilizan lo que debería preocuparnos, no los métodos en sí mismos".

En qué medida puede impactar la aplicación de IA a la gestión de los proyectos de construcción, y en concreto a los entornos BIM es aún una incógnita. Diseñadores, arquitectos e ingenieros encuentran más preguntas que respuestas concretas. Lo que sí está claro es que los procesos de simulación de edificios y BIM produce tantos datos que la mayoría de las organizaciones no saben qué hacer con ellos.

Resulta clave por tanto, entender la cantidad de datos que se produce en el proceso de diseño, modelado en entornos BIM, construcción y mantenimiento de los edificios. Los arquitectos, ingenieros y otros profesionales de la construcción no estamos usando todos estos datos en nuestro beneficio, ni el de nuestros clientes. El torrente de datos que genera la construcción no se utiliza de forma habitual, o al menos no en la proporción de las posibilidades que la IA puede hacer uso de ellos.

La tendencia en un sector poco acostumbrado al método y a los procedimientos estandarizados, es pasar al próximo proyecto sin pensar cómo se pueden utilizar todos los datos recopilados anteriormente para mejorarlo. El experto en tecnología del sector de la construcción Nicholas Klokhol explica las posibles implicaciones de la IA y *Big Data* aplicados a los entornos BIM en el sector de la construcción, y su principal problema actual: una vez que el proyecto arquitectónico está construido, el 95% de los datos que hemos

Technology is influencing almost every industry, and the design and construction fields are starting to adopt all these advancements. It is no longer odd to fly a drone over a construction site, to visualize a project before completion with virtual reality, or choose the best setting based on predictions made by AI.

AI is one of the technologies making great impact due to its future possibilities in the whole construction process. AI can take advantage of the analysis of large sets of data, and in the construction sector, besides the construction element, we also generate a valuable information in the form of data, which is rarely ever used.

AI is associated with a list of terms, such as algorithm, Machine Learning, and automation, which create a fear of the unknown among the professionals. In many fields, not only in the construction industry, there is a true fear towards AI: Will machines become more intelligent than humans?

According to Eleni Vasilaki, professor of computation neuroscience, that fear is misplaced. "Ultimately, just because AI can learn, we cannot really conclude that it will learn all of the aspects of human intelligence and become more clever", said Prof. Vasilaki, adding that we should make sure that we use these technologies in a beneficial way. "The automatic learning and the AI are tools.

These can be used in the right way or the wrong way, just like everything else. It is the way in which they can be used that we should be concerned about, not the methods themselves".

How the application of AI can impact the construction project management, and in particular the BIM project, is still unknown. Designers, architects, and engineers find more questions than answers. What is clear is that the processes for simulation of the building and BIM produce so much data that the majority of the organizations do not know what to do with them.

Hence, it is fundamental to understand the amount of data that is produced in the process of drawing, BIM modelling, construction, and building maintenance. The architects, engineers, and other construction professionals are not using all of this data for their own benefit, or that of their customers.

The data stream generated by construction is not usually used, or at least it is not used in the proportion of the possibilities provided by AI.

The tendency in a sector not accustomed to the standardized methods and processes, is to move on to the next project without considering how to use the collected data for improvement.

The expert in construction technology Nicholas Klokhol explains the possible implications of AI and Big Data applied to the context of BIM in the construction sector, and its main current problem: once the architectural project is built, 95% of the generated data is either deleted or not properly archived, hampering future analyses and exploitation.

By using data collected from models, simulations, and even through the physical elements as sensors inside finished cons-

generado en el proyecto se eliminan o no se archivan convenientemente para su análisis y aprovechamiento futuros.

Usando datos recopilados de modelos, simulaciones, e incluso a través de elementos físicos como sensores dentro de las construcciones ya terminadas, podemos transformar el proceso de diseño o, al menos, innovar con cada nuevo proyecto de construcción. IA nos ofrece una nueva perspectiva desde la que imaginar cómo poder aprovechar la información existente, los datos, tanto de modelados anteriores, como los datos provenientes de edificios ya construidos.

Una de las posibilidades para profundizar en los datos a través de IA tiene que ver con la automatización de procesos de gestión. La mayoría de los textos referidos a la evolución de IA en la gestión y dirección de proyectos, y la gestión de la obra de construcción en particular parten de un primer escenario en el que IA se encargará de automatizar e integrar información proveniente de los proyectos. Actualmente, ya podemos constatar que muchas herramientas de gestión de proyectos están desarrollando estas funcionalidades, convirtiéndose en expertos en recopilar y mantener la información histórica de los proyectos.

Según se extrae de distintos análisis como el que hace PWC en su artículo "*AI will transform Project management. Are you ready?*", la IA revolucionará los procesos de toma de datos y su automatización a través del *Machine Learning*. En este primer estadio, las aplicaciones se integran entre sí utilizando la información para distintos fines, facilitando las tareas de toma de datos, o enviando alertas cuanto puedan aparecer potenciales problemas en el proyecto. En futuros escenarios, la IA puede llegar a gestionar más procesos en los proyectos, desde asistentes virtuales que ayuden al equipo de proyecto a realizar mejor sus tareas, hasta máquinas que sean capaces de aprender y gestionar de forma autónoma los proyectos.

Actualmente, las estimaciones realizadas por los *project y construction managers* se basan en el estudio de datos históricos sobre las tareas ya realizadas. Esto permite a los gestores de proyectos estimar cuánto tiempo llevará completar las tareas futuras, su coste o riesgos asociados. Para estos profesionales, registrar y analizar esta información puede convertirse en una tarea engorrosa y lenta; sin embargo, integrando una solución basada en IA con el software de gestión de proyectos, conseguiremos automatizar el procedimiento completo de análisis de la información histórica. Cuanto mayor sea el acceso a la información disponible, proporcionando cantidades abundantes de información, la solución de IA será más fiable y compatible con los procesos de negocio. La IA ahorrará un valioso tiempo a los gestores de proyectos y sus organizaciones mediante la automatización de procedimientos repetitivos como éste.

Para los profesionales, éste es el primer panorama que pasa por su imaginación: un escenario en el que muchas de las tareas que ahora ocupan sus agendas sean sustituidas por algoritmos automáticos. La incertidumbre para las personas involucradas es obvia, dado que afectará a la asignación de recursos, y puestos de trabajo relacionados con la planificación y control de las obras.

tructions, we can transform the design process or, at least, innovate with each new construction project. AI provides a new perspective from which we can imagine how to take advantage of the present information, the data, both from previous modelling and from finished buildings.

One of the possibilities to deepen the data analyses through AI is associated with the automation of the management processes.

The majority of the text referring to the evolution of AI in the direction and management of projects, and to the management of the construction site in particular, derive from a scene in which AI is tasked with the automation and integration of the information originating in the projects.

According to diverse analyses, like the one by PWC in the article "*AI will transform Project management. Are you ready?*", AI will revolutionize every process for data reporting and its subsequent automation through Machine Learning.

In this first instance, the applications will combine using the information to different ends, facilitating the data acquisition tasks, or sending alerts when detecting potential problems in the project.

In the future, AI might even manage more processes within the projects, from virtual assistants helping the project team improving their work, to machines capable of learning and autonomously manage the projects.

Currently, the estimations made by the project and construction managers are based on the study of historical data on the tasks that have been already performed. This allows the project managers to estimate how long will it take to finish future tasks, as well as the associated costs and risks.

For these professionals, registering and analyzing all of this information might become a slow and tricky task; however, by combining an AI-based solution with project management software, we will be able to automate the complete procedure for the analyses of the historical information.

The greater access to the available information, providing huge quantities of data, the more reliable and compatible with business procedures the AI solution. The AI will save project managers and their organizations valuable time as a result of the automation of repetitive procedures, such as the one mentioned.

For the professionals, this is the first scenario that crosses their imagination: one in which much of the tasks that now occupy their agendas will be replaced by automatic algorithms. The uncertainty for the implicated people is obvious, since it will affect resource assignment, as well as workplaces involved in the planning and management of construction sites.

Further outcomes of the application of AI to BIM could be the improvement of the design itself, as well as the planing of its construction and the demand for resources during the building lifecycle.

Several companies are already exploiting the accumulated data from models and constructions for their application in the

Otra aplicación resultado de analizar con IA los datos obtenido de los modelos BIM podría ser la mejora del propio diseño, la programación de su construcción y la demanda de recursos durante el resto de vida útil de los edificios. Varias empresas ya están explotando los datos acumulados de modelos y construcciones para aplicarlos en la optimización de modelos conceptuales para futuros proyectos. Las técnicas de IA aprovechan los datos existentes para predecir el funcionamiento óptimo de distintos diseños. De esta manera, los diseñadores tienen la posibilidad de optimizar el desarrollo y el control de la calidad de los materiales empleados, estructuras e instalaciones. Además, para los propios promotores, asegura la rentabilidad de modelos conceptuales en BIM que puedan construirse de una forma eficaz y con un ciclo de vida barato de mantener.

Uno de los algoritmos que mejor se adapta para la interpretación y mejora del diseño de las edificaciones son los llamados "Algoritmos Evolutivos". Este tipo de algoritmos son métodos de optimización y búsqueda de soluciones basados en los postulados de la evolución biológica. Este algoritmo que interpreta los modelos BIM a través de la IA imita el proceso evolutivo propio de la naturaleza, y proporciona soluciones de diseño que pretenden optimizar distintos parámetros.

Dos de los más refutados expertos en IA, Jan Cudzik y Kacper Radziszewski defienden el uso de esta tecnología aplicada a la mejora del diseño arquitectónico. En su artículo "*Artificial Intelligence Aided Architectural Design*", indican que los algoritmos evolutivos se están volviendo interesantes para los artistas, diseñadores y arquitectos. Esta aplicación no es nueva, y sus implicaciones en la arquitectura ya cuentan con cierta experiencia. Los algoritmos evolutivos pueden ayudar a los diseñadores a resolver problemas complejos como la optimización de distintas tipologías estructurales o la selección de materiales que mejor se adapten a una solución determinada. El aprendizaje automático y el reconocimiento de patrones pueden analizar grandes volúmenes de datos para obtener información útil. Al poder volcar a la tecnología computacional actual estas cantidades masivas de datos a nuestra disposición, continuaremos acercándonos aún más a los mejores edificios a través de la inteligencia artificial.

Otros aspectos relacionados con el diseño, más en particular, con lo relativo al rendimiento energético del edificio, iluminación, calidad del aire y confort higrotérmico, son aspectos clave que se pueden mejorar con los datos provenientes de los modelos BIM y que podrían mejorar sustancialmente el coste de funcionamiento y mantenimiento durante todo el ciclo de vida del edificio. Al adoptar BIM, los propietarios pueden mejorar la calidad de los edificios, reducir enormemente los costos del ciclo de vida de los edificios, mejorar la experiencia de los proyectos de diseño de principio a fin, optimizar la competencia operativa y mejorar las tasas de ocupación y uso. El uso obvio de los modelos en BIM para los *Facility Managers* durante el tiempo de explotación de un activo inmobiliario, se verá reforzado por soluciones que tienen a optimizar los recursos disponibles.

Aunque no seamos capaces de dar una respuesta segura a la

optimization of conceptual models for future projects.

AI techniques use the existing data to predict the optimal functioning of different designs. This way, the designers have the possibility to optimize the development and control the quality of the materials, structures, and installations.

Moreover, for the promoters themselves, it assures cost effectiveness of the conceptual models in BIM that might be built in an efficient way and have a life cycle that is cheaper to maintain.

One of the best algorithms for the interpretation and improvement of the building design are the so called "Evolutionary Algorithms" (EA). These are methods for optimization and search of solutions based on postulates of the biological evolution.

EA interprets BIM models through AI mimicking the evolutionary process and provides design solutions that intend to optimize several parameters.

Two of the most reputed experts in AI, Jan Cudzik y Kacper Radziszewski advocate the use of this technology applied to the improvement of the architectonic design. In their article "Artificial Intelligence Aided Architectural Design", they indicate that EAs are becoming more interesting for artists, designers, and architects.

This application is not new and its implications in architecture already have a certain degree of experience. EAs can help drawers solving complex problems like the optimization of different structural typologies or the selection of the best materials for a certain situation. The machine learning and the pattern recognition can analyze big quantities of data in order to obtain useful information.

By applying the processing power of the nowadays computers to these massive quantities of data that are available to us, we will continue improving in order to approach more and more to the best possible buildings through the AI.

Other aspects related to the design, and in particular to the energetic performance, illumination, quality of air and hygrotérmic comfort, are key aspects that can be improved with the data produced by BIM models and that could considerably improve the operating cost during the building life cycle.

By adopting BIM, the building owners can improve the quality of the buildings, highly reduce the costs during the building life cycle, improve the experience of the design projects from the beginning to the end, optimizing the cooperative competition and improving the occupation rates and usage.

The obvious usage of BIM models for Facility Managers during the exploitation time of a real estate asset, will be empowered by solutions that are able to maximize the available resources.

Even though we are not able to answer the question of how AI will affect the design and constructive process, we are sure that somehow it will affect and change the way we work and also to which tasks we will dedicate our uptime.

Fear of the disappearance of certain roles and technicians will

pregunta sobre cómo afectará la IA al proceso de diseño y constructivo, es seguro que de alguna manera afectará y cambiará la manera cómo trabajamos, y a qué tareas dedicamos nuestro tiempo productivo. Persistirá el miedo a que desaparezcan ciertos roles y técnicos actuales, y seguro que aparecerán nuevos especialistas involucrados con la gestión de todas estas herramientas. Sin embargo, es una predicción aceptada por todos que utilizaremos estas nuevas capacidades tecnológicas para automatizar aquellos procesos que puedan ser realizados por una máquina, incluidos, por qué no los procesos creativos. El arquitecto Daniel Dendra, fundador de la firma Another Architect Studio, un estudio de arquitectura que fomenta el uso de diseños de código abierto, cree que la figura del arquitecto podrá ser sustituida por una máquina alimentada por IA en menos de 20 años. Daniel lo ve como un hecho lamentable, sino como la evolución natural de un proceso en el que muchas decisiones se pueden optimizar y automatizar gracias a la tecnología. Este hecho provocará al mismo tiempo la oportunidad para cambiar la forma en que nos relacionamos y trabajamos y nos relacionamos con la realidad del sector para todos estos profesionales sustituidos por algoritmos.

BIM ha ayudado a arquitectos, ingenieros, desarrolladores, contratistas y consultores de construcción a colaborar mejor y comenzar a hablar el mismo idioma. BIM ha mejorado tanto los procesos de diseño como los diseños mismos. Cambiar la forma en que trabajamos, en que dedicamos nuestro tiempo a tareas que aporten un valor diferencial al proceso constructivo. Siendo éste un texto editorial en el que nos permitimos ciertas licencias interpretativas de la realidad y del futuro de la profesión, podemos afirmar que el valor diferencial que podemos aportar tiene que ver con la colaboración que alimenta todo el proceso. Es por ello que, tanto las herramientas colaborativas, como BIM o *Last Planner System*, sobre las que se incluyen sendos artículos en este número, como las habilidades relacionadas con las personas de técnicos y gestores del proceso constructivo adquirirán mayor importancia, si cave.

Sin embargo, tampoco podemos estar seguros de estas palabras. Como decíamos al principio, los profesionales encontramos más preguntas que respuestas relacionadas con la IA y nuestros puestos de trabajo. Cudzik y Radziszewski comentan, "podemos argumentar que la inteligencia artificial tiene el potencial de cambiar toda la disciplina, dándole nuevas posibilidades y caminos para explorar". Quizás éste sea nuestro nuevo rol en el proceso constructivo, convertirnos en exploradores de nuevas posibilidades por descubrir.

persist, and certainly new specialists will emerge, related to all of these new tools.

Nonetheless, it is generally accepted that we will use these new technological capabilities to automate those processes that can be made by a machine, including, maybe, the creative processes.

The architect Daniel Dendra, funder of the company Another Architect Studio, an architecture studio that encourages the use of open source designs, believes that the architect might be replaced by a machine using AI in less than 20 years.

Daniel does not see this like an unfortunate fact, but as the natural process in which many decisions can be optimized and automated thanks to technology.

This fact will provide, at the same time, the opportunity to change the way in which we relate to technology and work, as well as to the reality of a sector in which a lot of professionals will be replaced by algorithms.

BIM has helped architects, engineers, owners, contractors and construction consultants to improve cooperation and to start speaking in the same language. Besides, BIM has improved both the design processes and the design itself.

It has changed the way we work, and the how we dedicate our the time to tasks that bring differential value to the constructive process.

With this text being an editorial in which we allow ourselves certain interpretative liberties from reality and from the future of the profession, we can affirm that the differential value we can contribute has to do with the collaboration that feeds the whole process.

And because of that, not only collaboration tools, as BIM or Last Planner System, about which there are some articles in this number, but also the skills of the construction process technicians and managers, will acquire greater importance, if that is possible.

However, we cannot be completely certain about this. As stated at the beginning, the professionals have far more questions than answers, about the AI and their work.

Cudzik and Radziszewski state that "we can argue that artificial intelligence has the potential to change the whole discipline, by providing it with new possibilities and ways to explore." Maybe this will be our new role within the constructive process - to become explorers of new possibilities yet to uncover.

Declaration of performance (DOP) and CE marking of cement mortars made with recycled steel waste

Declaración de prestaciones y marcado CE de morteros de cemento fabricados con residuos de acería valorizados

ISABEL SANTAMARÍA-VICARIO

PhD, University of Burgos. Escuela Politécnica Superior. Burgos, Spain
isantamaria@ubu.es

SARA GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ

PhD, University of Burgos. Escuela Politécnica Superior. Burgos, Spain
sggonzalez@ubu.es

VERÓNICA CALDERÓN-CARPINTERO

PhD, University of Burgos. Escuela Politécnica Superior. Burgos, Spain
vcalderon@ubu.es

ÁNGEL RODRÍGUEZ-SAIZ

PhD, University of Burgos. Escuela Politécnica Superior. Burgos, Spain
arsaizmc@ubu.es

The process of preparing a "Declaration of Performance" is presented for a masonry mortar manufactured with by-products from the steelmaking industry recycled as aggregates, for subsequent CE Marking, with the aim of promoting its commercialization within the European Union. Specific tests are applicable to construction mortars, both for masonry and rendering and plastering, for the verification of their performance, in accordance with harmonized standards EN-998-1 and EN 998-2. The study likewise sets out the Systems of Assessment and Verification of Constancy of Performance (SAVCP): System 4 for Rendering and Plastering Mortars and Systems 4 and 2+ for Masonry Mortars. Special importance in the new procedures for CE Marking is placed on the manufacturers, as they assume responsibility both for determining the properties of the materials and for establishing a control process in the factory. This document describes the technical development of the tests, in accordance with the applicable harmonized standards, for verifying the performance of the mortars designed with steelmaking slags as aggregates. The study concludes with the presentation of a Technical Data Sheet for the preparation of the corresponding CE marking for these new designed mortars.

Masonry mortar; steelmaking slags; EAFS; LFS; Waste; CE Marking.

Este trabajo recoge el proceso de elaboración de una "Declaración de Prestaciones" de un mortero de albañilería fabricado a partir de residuos de acería valorizados como áridos, para su posterior Marcado CE, con el objetivo de facilitar su comercialización en la Unión Europea. Los morteros para construcción, tanto de albañilería como de revoco y enlucido, disponen de ensayos específicos para verificar sus prestaciones, de acuerdo con las normas armonizadas EN 998-1 y EN 998-2. De igual forma, se establece que los Sistemas de Evaluación y Verificación de la Constancia de las Prestaciones (EVCP) serán el Sistema 4 para los Morteros de Revoco y Enlucido, y los Sistemas 4 y 2+ para los Morteros de Albañilería. Los nuevos procedimientos para el Marcado CE en productos de construcción otorgan especial importancia a los fabricantes, ya que son los responsables de determinar las propiedades de los materiales, así como de establecer un proceso de control en fábrica. En este trabajo se describe el desarrollo técnico de los ensayos realizados para verificar las prestaciones de los morteros diseñados con áridos siderúrgicos. El trabajo concluye con la elaboración de la Ficha Técnica de Características para la elaboración del correspondiente distintivo de Marcado CE de los morteros diseñados.

Mortero de albañilería; escorias siderúrgicas; EAFS; LFS; Residuo; Marcado CE.

1. INTRODUCTION

Regulation (EU) N° 305/2011 of the European Parliament and the Council of 9 March 2011 [1] states that both construction and civil works promoted within the geographic area of the European Union Member States should comply with a set of essential requirements that will guarantee the health of users and environmental protection; and will contribute to energy saving and to constant performance over time. Compliance with all these requirements is oriented towards safeguarding both the public and social interests.

Directive 89/106/EEC [2] established the obligation to produce a "Declaration of Conformity"; in which the manufacturer or its representative in the European Union had to declare that the construction product complied with the essential requirements of the relevant Directives that affected it.

Since 2011; the new Construction Products Regulation (EU) N° 305/2011 [1] has replaced the "Declaration of Conformity" by the "Declaration of Performance"; in which the manufacturers of construction products have clearly to specify "the performance of the product in relation to its essential

characteristics"; thereby assuming responsibility for the conformity of the product in relation to its declared performance.

The products commercialized in the European Union with harmonized standards should carry the "*CE Marking*"; which rather than a quality guarantee is an identification of a technical nature that indicates that the product complies with the standard that affects it; a necessary legal requirement for its commercialization.

The "*CE Marking*" displays all the information referring to a construction product with a specific declaration of its performance and essential characteristics; following the application of either the relevant harmonized standards or the approved European technical tests to which it has been subjected. The product manufacturer must do the "*Declaration of Performance*" or; if applicable; the importer; distributor; or the representative.

This new approach determines that the manufacturers of construction products should establish measures for verification by means of material tests; controlling the manufacturing process or conducting follow-up of their behaviour in terms of performance; in accordance with the requirements and demands of the System of *Assessment and Verification of Constancy of Performance (AVCP)* for the CE Mark.

The new Regulation determines that manufacturers of construction products should prepare a technical data sheet; in accordance with the required AVCP system; to verify the product characteristics and to issue the "*Declaration of Performance*"; a procedure that was not contemplated in Directive 89/106/EEC [2]. The CE marking can only be affixed to the product; if the corresponding technical data sheet has been completed for the "*Declaration of Performance*"; supported by the technical documentation (tests; trials; verifications).

In Spain; the application of the European Rules on Construction Products or Energetic Efficiency was transposed into the "*Código Técnico de la Edificación CTE*" (Technical Building Code) [3]. This document; also based on performance; defines the participation of the different agents in the building process through the sharing of experience acquired in the course of their profession.

In the case of construction masonry mortars; the manufacturers should verify that their products comply with the so-called "*essential characteristics*" according to the applicable harmonized standards; in accordance with a pre-established test plan. In addition; controls over the factory production process must be in place and; after some time; verification of their behaviour at the work site where they have been used.

The aim of this work is to develop a *Process of CE Marking and Certification*; at a laboratory scale; of an innovative

cement mortar that is respectful of the natural environmental and manufactured from steelmaking slags; by-products that are generated in the steel industry and recycled as siderurgical aggregates.

Steelmaking slags are classified as industrial waste that can be transformed into products through their recycling; in accordance with Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of the European Union of 19 November 2008 [4]. This action plan constitutes an opportunity to improve environmental conditions in Spain; in accordance with the "*Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020*" (State Program for Waste Prevention) [5] and the "*Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos*" (PREMAR) (State Waste Management Framework Plan) 2016-2022 [6].

2. METHODOLOGICAL PROCESS

Mortars designed by the Building Engineering Research Group of the University of Burgos have been used for the elaboration of the *CE Marking Technical File* of mortars **manufactured** with steelmaking slags as aggregates. These mortars have been characterized both in fresh and hardened state; and have undergone durability tests [7-9].

Subsequently; in order to determine "Declaration of Performance" of mortars; the rest of the tests included in the Standard EN 998-1 [10] (rendering and plastering mortars) and the Standard EN 998-2 [11] (masonry mortars); have been carried out.

According to the *Systems of Assessment and Verification of Constancy of Performance (AVCP)* for the CE Marking of mortars designed with steelmaking slags as aggregates; System 4 for Rendering and Plastering Mortars and Systems 2+ and 4 for Masonry Mortars were used respectively.

Finally; the CE Marking Technical File of mortars will be completed by the elaboration of the CE Mark; for its inclusion in documents; specifications sheet; packaging and other items necessary for its commercialization.

3. PREPARATION OF THE TECHNICAL DATA SHEET

Two avenues can be followed for the preparation of the technical data sheet:

- ◆ CE marking of the product following the ECS (European Committee for Standardization) using the harmonized standards applicable to the product; in this study; Standard EN 998-1 [10] (*CE Marking for rendering and plastering mortars*) and Standard EN 998-2 [11] (*CE Marking for masonry mortars*).
- ◆ European Technical Assessment (ETA); through the EOTA

(European Organization for Technical Assessment) process; using the *European Assessment Documents* (EADs).

In this study; the procedure established by the European Committee for Standardization (a) will be followed; because European Harmonized Standards are applicable both to construction mortars and to rendering and plastering mortars. The Resolution of 6 April 2017; from the *Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa* (General Directorate of Industry and Small and Medium Enterprises) [12]; updates the list of Harmonized Standards; in accordance with the contents of Regulation (EU) N° 305/2011 of the

European Parliament and of the Council [1]; which establishes the conditions for the commercialization of construction products. The Systems of *Assessment and Verification of Constancy of Performance* (AVCP) for application to mortars designed with steelmaking slags as aggregates are System 4 for Rendering and Plastering Mortars and Systems 2+ and 4 for Masonry Mortars.

Table 1 shows the tasks that the participants in the process have to follow. In this study; the actions of the Notified Body will not be considered; due to the fact that its intervention concerns the *mass production* process.

Type of Mortar	Rendering and Plastering	Masonry	
Assessment System	4	2+	4
Actions	Responsibility	Responsibility	Responsibility
Factory production control	Manufacturer	Manufacturer	Manufacturer
Further tests on samples taken by the manufacturer	Manufacturer	Manufacturer	Manufacturer
Assessment of Product Performance	Manufacturer	Manufacturer	Manufacturer
Initial inspection (Factory Plant and Production control)	Manufacturer	Notified Body	Manufacturer
Continuous surveillance; assessment and evaluation of Factory Production Control	Manufacturer	Notified Body	Manufacturer

Table 1. Tasks for Assessment Systems 2+ and 4

In accordance with the procedures; a technical data sheet with the standards applicable to the product for the determination of performance will be drafted. In this research work; mortars dosed with steelmaking slags as aggregates either for use as rendering and plastering mortars on vertical surfaces or for use as masonry mortars to lay stone and brickwork will be assessed. This assessment of performance will be based on the laboratory-scale test results.

A Unique ID-Code is assigned to the product (Reference; Commercial Name-Manufacturing Code) for its inclusion in the CE-Mark. In Table 2; the Code assigned to each mortar under study in accordance with its use is shown: MSwr is a mortar dosed with steelmaking slags as aggregates and a water retention admixture and MSap is a mortar dosed with steelmaking slags as aggregates and an air entrainment admixture.

Type of Mortar	Standard	Code
Rendering and plastering mortar	EN 998-1	MSwr
Masonry mortar	EN 998-2	MSap

Table 2. Assignment of ID-codes to the mortars

The essential characteristics with which the mortars have to comply are included in the standards of rendering and plastering mortars EN-998-1 [10] and masonry mortars EN 998-2 [11].

Subsequently; a set of tests will be established; in order to determine the performance of the material and its characteristics; with the objective of proceeding to its classification; in accordance with European standards. In Fig. 1; the set of tests necessary for the Declaration of Performance of CE Marking of both the rendering and plastering mortars and the masonry mortars are shown.

4. PRODUCT DESCRIPTION

Iron and steel production systems generate different types of slag by-products; with different characteristics and properties; in accordance with the raw material in use and the reagents added for their transformation.

The environmental impacts of these waste products range from visual impacts; due to the occupation of extensive surfaces for their deposition and storage; to the filtering of toxic chemicals such as toxic metals into the soil; as these toxins are decomposed by the action of atmospheric agents.

Research have been underway for some time to transform industrial waste slags into raw materials as an alternative to conventional natural resources used in the manufacture of construction products; giving priority to recycling and other forms of reuse; instead of dumping them with no defined usage; in accordance with European Directives 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council [4]; and the Programa Estatal de Prevención de Residuos (State Program for Waste Prevention) 2014-2020 [5] and the Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (State Waste Management Framework Plan) (PEMAR) 2016-2022 [6].

Some investigations have demonstrated the hydraulic capacity of ladle furnace slags (LFS) [13]; estimating substitutions in the order of 20-30% cement used in the dosages of mortars and concretes [14; 15]. The existence in their composition of anhydride calcium silicates justifies their reuse as a raw material in the manufacture of cements [16].

Electric arc furnace slags (EAFS) have been used as substitutes for conventional aggregates with good results in the manufacture of concretes due to their properties [17]. In other investigations; the joint use of EAFS and LFS has been studied in the formation of granulometries employed in concretes; yielding varied results [18].

With regard to masonry mortars; previous investigations have designed granulometries using EAFS as a thick component and LFS as filler; producing workable mixes and showing a reliable mechanical performance [7-9].

5. BACKGROUND

The mortars for inclusion in the technical data sheet for CE marking have been characterized in previous studies [7-9]. However; additional tests have to be completed that are described in the Experimental section; in order to finalize the data sheet which is shown in Fig. 1.



			
Rendering and plastering mortar		Masonry mortar	
University of Burgos 19 EN 998-1 (2016) Ordinary rendering mortar for exterior usage (GP)		University of Burgos 19 EN 998-2 (2016) Masonry mortar designed for ordinary usage (G) in exterior load-bearing constructions	
Dry bulk density of hardened mortar	EN 1015-10	Workable life of fresh mortar	EN 1015-9
Compressive strength at 28 days	EN 1015-11	Water-soluble chloride content	EN 1015-17
Adhesive strength	EN 1015-12	Air content	EN 1015-7
Water absorption by capillarity	EN 1015-18	Compressive strength at 28 days	EN 1015-11
Water vapour permeability (μ)	EN 1015-19	Initial shear strength	EN 1052-3
Thermal conductivity	EN 1745	Water absorption by capillarity	EN 1015-18
Reaction to fire	EN 13501-1	Water vapour permeability (μ)	EN 1015-19
Workable life of fresh mortar	EN 1015-9	Dry bulk density of hardened mortar	EN 1015-10
Air content	EN 1015-7	Thermal conductivity	EN 1745
Freeze/thaw durability		Freeze/thaw durability	
		Maximum aggregate size	EN 13501-1
		Reaction to fire	

Figure 1. Declaration of performance for CE marking. Left: Rendering and plastering mortar. Right: Masonry mortar

A Portland cement CEM I 42,5 R; with a density of 3150 kg/m³ is used for the preparation of these mortars. This cement has its own CE Marking; in compliance with the obligation for raw material controls contained in the Spanish regulation Instrucción para la recepción de cementos RC-16 (Instruction for the reception of cements RC-16) [19].

This type of cement has been used because it is basically composed of Portland Cement Clinker ($\geq 95\%$). This avoids possible unwanted reactions between the steelmaking slags and the active and inert additions of the cement.

The aggregate in use has a Maximum Aggregate Size (MAS) of less than 2.00 mm; and it presents a uniform particle size distribution; as indicated in Fig 2. It consists of EAFS and LFS; in accordance with the following criteria:

- ◆ Sieve sizes between 0.063 mm and 2.00 mm: EAFS; with a density of 3645 kg/m³; principally consisting of Fe₂O₃; CaO; SiO₂; and Al₂O₃.
- ◆ The fine components; with a sieve size lower than 0.063 mm or aggregate filler: LFS; with a density of 2860 kg/m³; consisting of SiO₂; CaO; MgO and Al₂O₃.

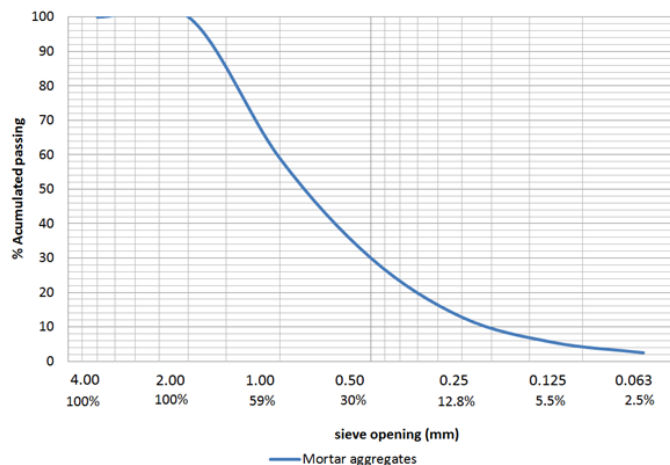


Figure 2. Particle size distribution for aggregates

The CE Marking of these aggregates; steelmaking slags; is dependent on the Evaluation System 2+ and the harmonized standard EN 13139:2002/AC: 2004 [20]. The manufacturer-supplier of slag aggregate (EAFS-LFS) is expected to prepare the Declaration of Performance of the Aggregate and its CE Marking. A Notified Body will issue the corresponding

Certificate of Conformity with Factory Production Control. Two cement mortars were designed with these materials with the technical label “dry industrial mortars” and with an identical particle size distribution for aggregates; for which reason their Fineness Module were also the same.

As indicated; the maximum aggregate size was 2.00 mm; similar to the one used for conventional commercial cement mortars. The dosage in weight used for the preparation of the mixtures was 1 part of cement to 6 parts of aggregate.

Different admixtures are added to the mortars; so that they are workable and can be used on building sites: a water retention admixture [wr] and an air entrainment-plasticizer [ap]; with the objective of reducing the exudation of water; increasing its retention; reducing the density and increasing the occluded air content of the mortars.

The siderurgic mortars [MS] are abbreviated as MSwr when the water retention admixture is used and as MSap for the air entrainment-plasticizer. The characterization in both the fresh and the hardened state of the mortars is reflected in Table 3 and has been described in previous investigations [7-9].

	Test method	MSwr	MSap
Water/ kg dry mortar (gr) [7]	EN 1015-3	136	119
Bulk density of fresh mortar (kg/m ³) [7]	EN 1015-6	2103	2201
Air content (%) [7]	EN 1015-7	24	22
Water retention (%) [7]	UNE 83-816-93	88	79
Workable life of fresh mortar (min) [7]	EN 1015-9	451	213
Dry bulk density of hardened mortar (kg/m ³) [7]	EN 1015-10	1982	2080
Flexural strength at 28 days (N/mm ²) [7]	EN 1015-11	2.8	3.6
Compressive strength at 28 days (N/mm ²) [7]	EN 1015-11	10.6	11.5
Adhesive strength (N/mm ²) [7]	EN 1015-12	0.62	0.64
Water absorption by capillarity (kg/m ² ·min ^{0.5}) [9]	EN 1015-18	0.15	0.16
Water vapour permeability (μ) [9]	EN 1015-19	15	9
Durability – freeze/thaw cycles [8]	EN-12371 (56 cycles)	Without alterations	Without alterations

Table 3. Mortars characterization

6. EXPERIMENTAL. PROCESS OF CE MARKING

In this section; the tests will be described that are required; in accordance with the regulation; to complete the technical data sheet of the mortars shown in Fig.1.

6.1. WATER SOLUBLE CHLORIDE CONTENT

The procedure detailed in standard EN 1015-17 [21] was followed to establish the water soluble chloride content. In keeping with the requirements of a dry industrial mortar; the sample was milled until it passed through a 10 mm sieve. Then; the sample was reduced to 50 gr and milled until it all passed

through a 0.125 mm sieve. Two mortar samples were prepared of ‘MSwr’ and two of ‘MSap’.

An amount of 10gr±0.005 gr of the sample; milled at a temperature of 20°C±5°C; was weighed out and poured into a 150 ml polyethylene tube. Then; 100 ml of distilled water was added; the tube was sealed and agitated in a magnetic agitator with a polyethylene coated bar for 60 min. The tube with its content was left to rest for (a minimum of 15 h and a maximum of 24 h) one night.

Subsequently; the fraction of the sample that was in suspension was separated by filtration; recovering the filtrate in a 250 ml borosilicate glass beaker. The residue remaining in the filter was washed with 25ml±5 ml of distilled water. The

filtrate was acidified by adding 20 ml of diluted nitric acid (1+2) and brought to boiling point.

By means of a pipette; 5 ml of the solution of silver nitrate 0.10 mol/l was added to the acidified solution. It was immediately brought to boiling point for 1.5-2 min; and left to cool to a temperature below 25°C. The contents of the beaker were passed to a 500 ml Erlenmeyer flask. 5 drops of the indicator solution of ammonium sulphate and iron III $[\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ are added.

A 10 ml burette is filled with an ammonium thiocyanate solution. The solution of the burette in the previous mixture is added; turning a light brownish-red colour; which disappears under vigorous agitation. The test ends when the colour is remained visible following agitation (Fig. 3). The volume; V_1 ; of the solution of ammonium thiocyanate solution consumed in the assay was noted.

The previous procedure was repeated without the mortar sample and the volume; V_2 ; of the solution of ammonium thiocyanate necessary for this assay was noted.

The content of chloride ions; expressed by mass % in reference to the sample of dry mortar was calculated by means of the following equation:

$$Cl(I)\% = (V_2 - V_1) \times f \times \frac{3.545}{10 \times m} \quad (1)$$

Where:

V_1 is the volume of the ammonium thiocyanate solution; 0.1M (ml); consumed during the assay of the test solution.

V_2 is the volume of the ammonium thiocyanate solution; 0.1M (ml); consumed in the dummy assay.

m is the mass of the test sample (gr)

f is the molarity factor in relation to the solution of ammonium thiocyanate (usually 0.10 mol/l)

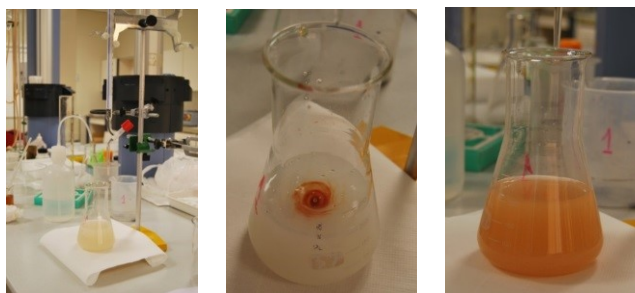


Figure 3. Operating procedure. Calculation of the water-soluble chloride content.

6.2. DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH

CE-markings of the masonry mortars that will be employed for masonry walls need to include the characteristic shear strength.

To do so, the procedure described in EN 1052-3 [22] was followed. The sample specimens consisted of three bricks with mortar bonds placed on a larger surface, as shown in Fig. 4. Double hollow bricks with dimensions of (240x110x90) mm and with a water absorption coefficient to saturation of 18% were used.

To prepare the sample specimens, three ceramic bricks, previously dried in an oven, were placed in water for 1 min. Within that time, the bricks had absorbed 9% of water, so that they presented a known humidity level that had not reached saturation point, but that avoided absorbing the mortar mixing water.

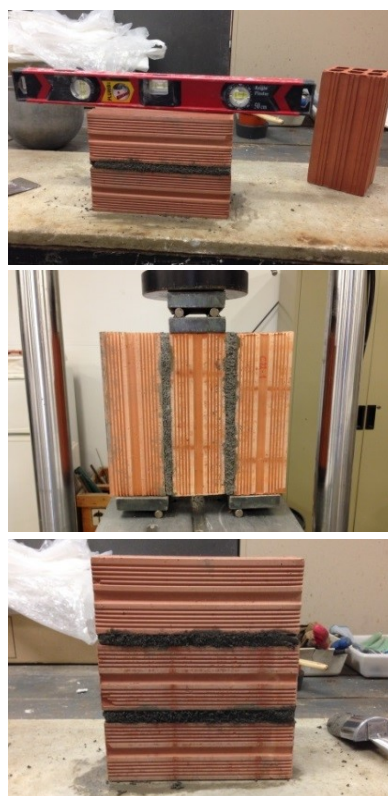


Figure 4. Operating procedure. Preparation and breakage of sample specimens under shear stress

Having prepared the samples, they were placed in a polyethylene bag and compressed, with a mass uniformly distributed, to give a vertical tension of between $2 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ and $5 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$, in accordance with the specifications of the harmonized standard. The specimens remained unaltered over a period of 28 days in a humid chamber, under a constant temperature of 20 °C and a relative humidity of 95%. At the end of the curing period, the specimens were tested in a Suzpecar model MEn 101 multi-test machine, with a load capacity of 20 tn. 'Procedure B', detailed in the standard and shown in Fig 4 was followed.

The initial shear stress, f_{voi} , was calculated with the following expression (2):

$$f_{voi} = \frac{F_i}{2A_i} \quad (2)$$

Where:

F_i is the shear stress (N)

A_i is the transversal area of a sample parallel to the horizontal bonded joints (mm²)

On the basis of these individual results, the average initial shear stress strength, f_{vo} , was estimated.

The characteristic shear strength, f_{vok} , was calculated according to the following expression (3):

$$f_{vok} = 0.8x f_{vo} \quad (3)$$

Where:

f_{vo} is the average initial shear strength (N/mm²)

6.3. THERMAL CONDUCTIVITY

The test for the determination of thermal conductivity followed the guidelines established in standard ASTM C 1114-06 [23]. To do so, 6 specimens of each mortar type were prepared with the following dimensions (110x70x6.5) mm³. The specimens remained in the humid chamber for 28 days.

A THASYS thermal conductivity Measurement System was employed, a machine that is based on a laminar heat transfer method, in accordance with the requirements of Annex 1 of the aforementioned ASTM, consisting of a thin heater apparatus THA01 and a measurement control unit MCU01, from HUKSEFLUX THERMAL SENSORS.

It ran on a Thasys v0909.CR1 data acquisition and control software version of the "Campbell Scientific LoggerNet".

6.4. FIRE RESISTANCE

Cylindrical samples with a diameter of 75 mm and a height of 150 mm were prepared to classify the behaviour of the mortars when exposed to fire. These specimens were cured in a humid chamber for 28 days at a temperature of 20°C and a relative humidity of 95%.

The non-combustibility test was completed as described in standard EN ISO 1182 [24]. The specimens were conditioned for 72 h at a temperature of 23±2°C and a humidity of 50±5%. They were then dried in a ventilated oven at a temperature held at 60±5 °C for 24 h.

The samples were introduced in an oven equipped with thermocouples for temperature control, and the oven temperature was increased at a constant speed that was stabilized for at least 10 min at 750±5°C.

The test was stopped when the equilibrium temperature was reached or after 60 min had elapsed. The increased

temperature of the oven throughout its central axis, the persistence of flames (sec.) and mass loss (%) were all recorded.

7. RESULTS AND DISCUSSION

7.1. WATER-SOLUBLE CHLORIDE CONTENT

The results for each of the test samples and the average for each mortar type appear in Table 4.

	Water-soluble chloride content (%)	
	MSwr	MSap
Sample 1	0.005	0.007
Sample 2	0.007	0.005
Average	0.006	0.006

Table 4. Water soluble chloride content in relation to the mass of dry mortar.

Standard EN 998-2 [11] indicates that the mortar manufacturer must declare the chloride content. This value must not be greater than the declared content and must never exceed 0.1% in relation to the mass of dry mortar.

The mortars in this study presented a lower content than the standard specification, which was expressed in the data sheet specifications: Content of chloride ions <0.01%.

7.2. DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH

In Fig 5, the breaking load under shear stress, F_i (kN), of the test samples is shown as a function of displacement in the test machine. The construction specimen formed by the three bricks and mortar bonds presented an initial breakage point in the brick. Nevertheless, the specimens were sufficiently strong to support a higher shear load, up until complete breakage. The value of the breaking load that was registered was the first breakage value. The average values from the test are shown in Table 5.

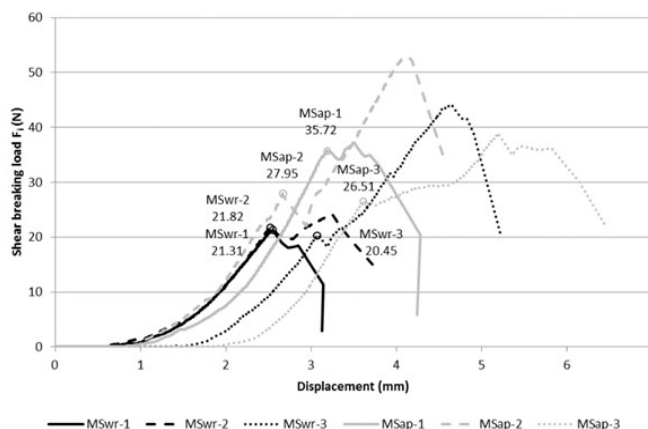


Figure 5. Breaking load under shear stress (kN)

	Breaking load under shear stress (kN)	Initial shear strength, f_{vo} (N/mm ²)	Initial average shear strength, f_{vo} (N/mm ²)	Initial characteristic shear strength, f_{vok} (N/mm ²)
MSwr1	21.31	0.403	0.401	0.320
MSwr2	21.82	0.413		
MSwr3	20.45	0.387		
MSap1	35.72	0.677	0.570	0.456
MSap2	27.95	0.530		
MSap3	26.51	0.502		

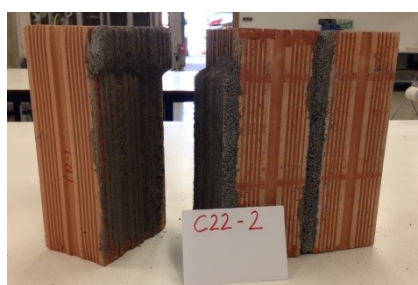
Table 5. Initial and characteristic shear strength

		Avg. T ^a (°C)		λ (W/m·K)	
MSwr	Samples 1-2	10.70	10.27	0.59±0.02	0.56±0.02
	Samples 3-4	9.98		0.57±0.02	
	Samples 5-6	10.14		0.51±0.02	
MSap	Samples 1-2	10.71	10.31	0.60±0.02	0.61±0.02
	Samples 3-4	10.09		0.64±0.02	
	Samples 5-6	10.12		0.60±0.02	

Table 6. Thermal conductivity coefficient



MSwr 1
Shear stress breakage of the brick/mortar bond



MSwr 2
Shear stress breakage of the brick/mortar bond



MSwr 3
Shear stress breakage of the ceramic brick



MSap 1
Shear stress breakage of the ceramic brick



MSap 2
Shear stress breakage of the ceramic brick



MSap 3
Shear stress breakage of the ceramic brick

Figure 6. Types of shear stress breakage in the different samples

The standard indicates that, in addition to the initial shear stress value, the type of breakage of the test samples has to be specified. Fig. 6 shows the type of breakage that occurred: in some cases, breakage of the brick/mortar bond, on other occasions breakage of the brick sample.

7.3. THERMAL CONDUCTIVITY

The faces of the specimens were polished until perfectly flat before the start of the test. The samples were grouped by each mortar type (MSap and MSwr) into three pairs, in other words, three tests were completed for each mortar type. The average temperature values of the test and the thermal conductivity coefficient, λ (W/m·K), are shown in Table 6.



The thermal conductivity values were very similar in both mortars. These values represent approximately half of the tabulated value, normally set at a density of 2100 kg/m³: 1.20 W/m·K for cement mortars.

7.4. FIRE RESISTANCE

The non-combustibility test results (Table 7) confirmed that the samples produced no continuous flame, the oven temperature increased was less than 30°C ($\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$) and the mass loss was less than 50% ($\Delta m \leq 50\%$). According with this results and the requirements of standard EN 13501-1:2007 [25] the mortars can be classified as Euro-class A1 (a non-combustible materials that will not at any stage add to the fire, including the totally developed fire).

	ΔT (°C)	Flame persistence (s)	Δm (%)
MSwr	4.8	---	7.53
MSap	4.5	---	7.46

Table 7. Coefficient of thermal conductivity

			
Rendering and plastering mortar		Masonry mortar	
University of Burgos 19 EN 998-1 (2016) Ordinary rendering mortar for exterior usage (GP)		University of Burgos 19 EN 998-2 (2016) Masonry mortar designed for ordinary usage (G) in exterior load-bearing constructions	
Dry bulk density of hardened mortar	1982 kg/m ³	Workable life of fresh mortar	213 min
Compressive strength at 28 days	10.6 N/mm ²	Water-soluble chloride content	< 0.01%
Adhesive strength	0.62 N/mm ²	Air content (%)	22%
Water absorption by capillarity	W2	Compressive strength at 28 days	11.5 N/mm ²
Water vapour permeability (μ)	15	Initial shear strength	0.46 N/mm ²
Thermal conductivity	0.56 W/m·K	Water absorption by capillarity	0.16 kg/m ² ·min ^{0.5}
Reaction to fire	A1	Water vapour permeability (μ)	9
Workable life of fresh mortar	451 min	Dry bulk density of hardened mortar	2080 kg/m ³
Air content	24 %	Thermal conductivity	0.61 W/m·K
Freeze/thaw durability	Without alterations	Freeze/thaw durability	Without alterations
		Maximum size of aggregate	MSA ≤ 2 mm
		Reaction to fire	A1

8. Conclusions

In accordance with the characterization of the dry industrial mortars under study and the results of the present research, the data sheet of the mortars dosed with steelmaking slags as aggregates, with regard only to the material specifications, would be as presented in Fig. 7.

9. References

- [1] Regulation No. 305/2011 (Construction Products Regulation, or CPR) of the European Parliament and of the European Council of 9 March 2011 that lays down harmonized conditions for the marketing of construction products and replaces Construction Products Directive (89/106/ECC), 2011.
- [2] Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products 1988.
- [3] Ministerio de Vivienda. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [4] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives of 19 de November de 200.
- [5] Resolución de 20 de diciembre de 2013, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 13 de diciembre de 2013, por el que se aprueba el Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020.
- [6] Resolución de 16 de noviembre de 2015, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 6 de noviembre de 2015, por el que se aprueba el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022.
- [7] I. Santamaría-Vicario, A. Rodríguez, S. Gutiérrez-González, and V. Calderón, "Design of masonry mortars fabricated concurrently with different steel slag aggregates," *Construction and Building Materials*, vol. 95, pp. 197-206, 10/1/ 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.164>
- [8] I. Santamaría-Vicario, A. Rodríguez, C. Junco, S. Gutiérrez-González, and V. Calderón, "Durability behavior of steelmaking slag masonry mortars," *Materials & Design*, vol. 97, pp. 307-315, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.080>
- [9] I. Santamaría-Vicario, A. Rodríguez-Saiz, J. García-Cuadrado, C. Junco-Petremont, and S. Gutiérrez-González, "The influence of porosity on the behaviour in humid environments of mortars made with steelmaking slags and additives," *Dyna*, vol. 92, pp. 220-225, Mar-Apr 2017. <http://dx.doi.org/10.6036/8193>
- [10] EN 998-1 Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar. European Committee for Standardization, 2016.
- [11] EN 998-2 Specification for mortar for masonry. Part 2: Masonry mortar. European Committee for Standardization, 2016.
- [12] Resolución de 6 de abril de 2017, de la Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, por la que se amplían los Anexos I, II y III de la Orden de 29 de noviembre de 2001, por la que se publican las referencias a las Normas UNE que son transposición de normas armonizadas, así como el período de coexistencia y la entrada en vigor del marcado CE relativo a varias familias de productos de construcción.
- [13] J. Setién, D. Hernández, and J. J. González, "Characterization of ladle furnace basic slag for use as a construction material," *Construction and Building Materials*, vol. 23, pp. 1788-1794, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.10.003>
- [14] A. Rodríguez, J. M. Manso, Á. Aragón, and J. J. González, "Strength and workability of masonry mortars manufactured with ladle furnace slag," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 53, pp. 645-651, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.04.015>

- [15] I. Papayianni and E. Anastasiou, "Production of high-strength concrete using high volume of industrial by-products," *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 1412-1417, 8// 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.01.016>
- [16] A. S. D. Vilaplana, V. J. Ferreira, A. M. Lopez-Sabiron, A. Aranda-Uson, C. Lausín-Gonzalez, C. Berganza-Conde, et al., "Utilization of Ladle Furnace slag from a steelwork for laboratory scale production of Portland cement," *Construction and Building Materials*, vol. 94, pp. 837-843, Sep 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.075>
- [17] C. Pellegrino and V. Gaddo, "Mechanical and durability characteristics of concrete containing EAF slag as aggregate," *Cement & Concrete Composites*, vol. 31, pp. 663-671, Oct 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.006>
- [18] J. A. Polanco, J. M. Manso, J. Setien, and J. J. Gonzalez, "Strength and Durability of Concrete Made with Electric Steelmaking Slag," *ACI Materials Journal*, vol. 108, pp. 196-203, Mar-Apr 2011. <https://doi.org/10.14359/51682313>
- [19] Ministerio de Fomento. Real Decreto 256/2016, de 10 de junio, por el que se aprueba la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-16).
- [20] EN 13139:2002/AC: 2004 Aggregates for mortar. European Committee for Standardization, 2004.
- [21] EN 1015-17 Methods of test for mortar for masonry. Part 17: Determination of water-soluble chloride content of fresh mortars. European Committee for Standardization, 2000.
- [22] EN 1052-3 Methods of test for masonry. Part 3: Determination of initial shear strength. European Committee for Standardization, 2003.
- [23] ASTM C 1114-06 Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Thin-Heater Apparatus, 2013.
- [24] EN ISO 1182 Reaction to fire tests for products. Non-combustibility test. European Committee for Standardization, 2010.
- [25] EN 13501-1: Fire classifications of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. European Committee for Standardization, 2010.

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Review of health and safety management based on BIM methodology

Revisión de la gestión de seguridad y salud basada en la metodología BIM

ANTONIO J. AGUILAR

Building Engineer, University of Granada, Department of applied physics, Avenida Fuente Nueva S.N., 18071, Granada, Spain. antojas@ugr.es

MARÍA L. DE LA HOZ

Ph.D student, University of Granada, Department of applied physics, Avenida Fuente Nueva S.N., 18071, Granada, Spain. mlhoz@ugr.es

MARÍA D. MARTÍNEZ-AIRES

Professor, University of Granada, Department of Building Construction, Avenida Fuente Nueva S.N., 18071, Granada, Spain. aires@ugr.es

DIEGO P. RUÍZ

Professor, University of Granada, Department of applied physics, Avenida Fuente Nueva S.N., 18071, Granada, Spain. druíz@ugr.es

Construction sector in particular requires a great attention due to its level of hazard associated to its special characteristics. In this regard it must also be remembered that unlike most industrial processes, the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry continues using traditional methods both in the design and execution of projects. In the specific case of safety management, these methods are based on the use of 2D plans/drawings to identify potential risks and establish preventive measures. These are manual working methods, usually based on the expertise of professionals. Recently, building Information Modelling (BIM) has emerged as a fundamental part of construction project management, where BIM is intended to replace the traditional methodology based on CAD. Several characteristics make the use of BIM appealing in safety management. On the one hand, the possibility of implementing BIM in construction projects provides the opportunity to control it from the beginning, applying prevention through design; this possibility has unleashed a growing interest in the application of BIM in construction safety and health management. In this context, this paper presents the results of the analysis and review of research in safety management applying BIM methodology. The methodology used to carry out this study is based on a systematic literature review. The analysis was carried out taking into account the following attributes: (1) year of publication, (2) country, (3) research topic and (4) applied technology. As a result of this study, we conclude that up to now BIM related research was mainly focused on the design and construction phase. An important aspect which is frequently studied is the implementation of new technologies throughout the construction process, for example, the use of algorithms, rule checking, real time location system combined with BIM methodology.

Building Information Modelling; Safety management; Construction; Review.

El sector de la construcción es uno de los más peligrosos en el mundo, debido principalmente a las características especiales que presenta. Sin embargo, a diferencia de la industria, en el sector de la Ingeniería, Arquitectura y Construcción (IAC) se siguen empleando métodos tradicionales en el diseño y ejecución de los proyectos. En el caso específico de la gestión de la seguridad, estos métodos están basados en documentos y planos en 2D para identificar los riesgos y establecer las medidas preventivas. Estos métodos son manuales y basados normalmente en la experiencia del profesional. El Building Information Modelling (BIM) ha emergido como una herramienta fundamental en el sector de IAC, donde el BIM está llamado a reemplazar la metodología tradicional basada en CAD. La aplicación del BIM en proyectos de construcción aporta la ventaja de poder controlar el proyecto desde su inicio, pudiendo aplicar la prevención desde el diseño, mejorando así la gestión de la seguridad en este sector. El objetivo de la presente investigación es realizar una revisión del estado del conocimiento de la metodología BIM y la seguridad en obras de construcción. Con este fin, se han analizado las publicaciones anuales realizadas sobre este tema, en función de variables como título, año de publicación, tecnología, país de procedencia y caso de estudio. El análisis pone de manifiesto que las investigaciones están centradas principalmente en fase de diseño y construcción. Un aspecto importante es el empleo e implementación de nuevas tecnologías a lo largo del proceso constructivo, como es el uso de algoritmos, reglas de chequeo y sistemas de posicionamiento a tiempo real implementados en BIM.

Building Information Modelling; Gestión seguridad; Construcción; Revisión.

Abbreviations: BIM, Building Information Modeling. AIC, Arquitectura, Ingeniería y Construcción.

1. INTRODUCCIÓN

Las características funcionales que presenta el sector de la construcción determinan que sea uno de los sectores más peligrosos del mundo. Uno de cada cinco accidentes mortales (20,9%) en la EU en 2014 tuvo lugar en el sector de la construcción [1].

Son muchos los factores que influyen en la siniestralidad del sector, destacando que, a diferencia de otros sectores industriales, la planificación de un proyecto de construcción está sometido a constantes cambios: existen diversidad de tareas de forma simultánea, multiplicidad de agentes, escasa profesionalización, cada proyecto es único, etc. Sin embargo es posible planificar mínimamente los trabajos desde el punto de vista de la seguridad eliminando la posibilidad de que surjan accidentes, es decir, siempre es posible hacer prevención en el diseño (Prevention through Design) [2, 3].

En 1991 el informe Lorent [4] puso de manifiesto la correlación entre accidentes mortales y las decisiones tomadas en fase de proyecto; “el 35% del total de accidentes mortales registrados en obras de construcción se deben a decisiones tomadas en la fase de diseño de la obra”.

López-Valcárcel [5] expone que la mayor parte de los riesgos que surgen en los trabajos de construcción son el resultado de una mala planificación de los mismos.

Por otro lado, la comunicación de la comisión Europea de 2008 [6], pone de manifiesto que en fase de diseño, generalmente, no se tiene suficientemente en cuenta la seguridad, destacando la falta de coordinación en materia de seguridad entre los diferentes agentes. Todo ello, dificulta la prevención de los riesgos durante el ciclo de vida del edificio.

Como propone Szymberski [7], a medida que se avanza en el desarrollo de un proyecto, decrece la influencia que se puede tener en la toma de medidas en cuestión de seguridad y salud.

Por otro lado, a diferencia de otros sectores industriales donde los cambios tecnológicos han tenido un enorme impacto, el sector de la construcción continua empleando un elevado número de métodos tradicionales tanto en la elaboración de los proyectos como en la ejecución de las obras -basados principalmente en documentos y planos en 2D.

Durante los últimos años, estas circunstancias están cambiando en todo el mundo con la implantación de la metodología Building Information Modeling (en español, modelado de la información de edificación, en adelante BIM) como herramienta fundamental en la industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AIC) [8].

BIM, como metodología, consiste en la creación, gestión y

almacenamiento de información de las propiedades y características de las diferentes partes de la construcción, no solo referente a sus propiedades geométricas o visuales, sino relativas también a otros aspectos, además desarrolladas mediante una participación y colaboración entre los diferentes agentes que intervienen en el proyecto [9].

El modelo BIM resultante se trata de una representación digital de todas las características físicas y funcionales de un edificio, una base de datos de información fiable durante toda su vida útil, desde su diseño hasta su demolición. La concentración de toda la información y datos del proyecto en un único modelo permiten adquirir una visión global y una mayor coordinación de todas las partes del mismo.

La creciente aplicación de BIM en la industria de AIC está cambiando la forma de abordar la seguridad en construcción [10]. Esto permite anticiparse a los problemas que puedan aparecer posteriormente en obra, con mayor tiempo de estudio y eliminando las posibles interacciones que creen riesgos que puedan derivar en accidentes o lesiones de los trabajadores [11]. En este sentido BIM tiene el potencial de mejorar la prevención desde el diseño y sirve de apoyo entre arquitectos, ingenieros y constructores para mejorar la seguridad de los trabajadores en los procesos de construcción [12].

El modelo BIM, implementado con la generación de entornos virtuales, tiene un gran potencial para optimizar evaluaciones de riesgos precisas, así como definir y planificar las medidas de seguridad, para la formación en seguridad de los trabajadores y en definitiva para mejorar la gestión de la seguridad.

Es esencial que tanto diseñadores y técnicos de seguridad incluyan toda la información en el modelo BIM y que ambos desarrollen una gestión integrada de la seguridad desde el primer momento del diseño, tal y como remarcan [11].

BIM presenta una oportunidad en el campo de la seguridad y salud, ya que permite cumplir con la obligación establecida en el RD 1627/1997 y la Ley de Prevención de Riesgos Laborales en su art 15 de ‘combatir los riesgos en su origen’.

La aplicación del BIM en el campo de seguridad y salud en AIC supone la ventaja de controlar el proyecto desde el principio, pudiendo aplicar la prevención desde la fase de diseño. Sin embargo, todavía está en una fase prematura, ya que según el informe de SmartMarket de 2014 solo un 7% de las empresas constructoras afirma que uno de los principales beneficios de la metodología BIM es la mejora de la seguridad y salud [13].

En este trabajo se presenta una revisión sistemática de la bibliografía existente en materia de gestión de la seguridad y salud aplicando la metodología BIM con el objetivo de conocer la situación actual.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada para la realización del estudio se basa en la revisión sistemática de bibliografía sobre metodología BIM aplicada a la seguridad y salud. El proceso de revisión queda reflejado en la Figura 1. El primer paso ha sido identificar las fuentes de información a consultar.

En la revisión se han considerado solo artículos de revistas con índice de impacto ('Journal Citation Report'). No se han tenido en cuenta otras publicaciones académicas o publicaciones de congresos. Las bases de datos consultadas fueron Web of Science, Scopus, Science Direct y ASCE.

El período de análisis del estudio se ha realizado entre 2009 hasta 2016, ya que la metodología BIM es de reciente aplicación y es durante estos años donde se ha producido su mayor implantación tanto a nivel académico (investigaciones) como a nivel profesional.

Para la revisión bibliográfica se han tenido en cuenta tres criterios de búsqueda. Los artículos han sido identificados mediante token (palabras clave):

- 1) "BIM" OR "Building Information Modelling"
- 2) "Safe" OR "Risk" OR "Hazard"

- ♦ Criterio 1.- Los artículos han sido identificados usando el token (1) junto con el (2) en el título y/o resumen y/o palabras clave.
- ♦ Criterio 2.- Los artículos han sido identificados usando el token (1) en todo el cuerpo del artículo y el token (2) en el título y/o resumen y/o palabras clave.
- ♦ Criterio 3.- En esta fase se han incluido aquellos artículos que han quedado fuera de los criterios de búsqueda anteriores. Estos han sido identificados a través de las referencias de los propios artículos o mediante la búsqueda de autores más destacados en la materia.

Criterio de búsqueda	Nº artículos
Token (1) y (2) en título y/o resumen y/o palabras clave	77
Token (1) todo el artículo; (2) en título y/o resumen y/o palabras clave	94
Fuera de criterios de búsqueda	8
Eliminación de duplicados	18
Total	161

Tabla 1: Resultados de la búsqueda

En la Tabla 1 se muestra el resumen de los resultados obtenidos tras la búsqueda. Un total de 77 artículos han sido identificados según el criterio 1 y 94 artículos según criterio 2. En una etapa posterior se han eliminado 18 artículos duplicados.

En total se han obtenido 113 artículos entre ambos criterios de búsqueda. En la fase de gestión y depuración se han excluido 113 artículos, ya que aunque estos cumplían con los criterios de búsqueda, los artículos no trataban sobre seguridad y salud en el sector de la construcción.

Una vez realizada la depuración se han obtenido 40 artículos, a los que se han incluido 8 artículos según el criterio de búsqueda 3, correspondientes a artículos que han quedado fuera de los criterios anteriores. En total han sido seleccionados 48 artículos para su análisis.

Los artículos han sido codificados para su análisis en función de (1) título del artículo, (2) año de publicación, (3) título de la revista, (4) país, (5) tema de investigación, (6) fase del proyecto y (6) tecnología aplicada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los artículos han sido analizados en función del periodo de publicación, distribución por países, tecnología aplicada y fase de proyecto implementada.

Los resultados son analizados en las siguientes secciones.

3.1. PERIODO DE PUBLICACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

La Figura 2 muestra la evolución histórica de la aplicación de la metodología BIM a la seguridad y salud en el sector construcción. El primer artículo que aplica BIM con dicho

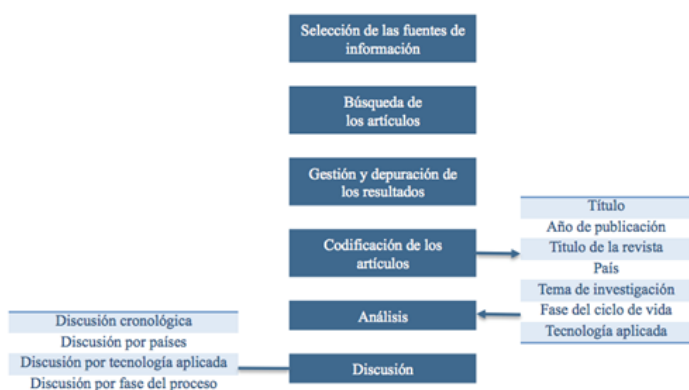


Figura 1: Diagrama proceso revisión bibliográfico.

objetivo fue publicado en el año 2009.

El número de publicaciones es especialmente bajo hasta 2013, y es a partir de este año cuando las publicaciones comienzan a crecer gradualmente.

Por lo tanto se puede hacer una división en dos períodos, un primer período entre 2009-2012, que representa un 10% del total de publicaciones, y el período 2012-2016, que supone el 90%. Es a partir de 2013 donde la seguridad ha comenzado a ser una investigación relevante dentro de la metodología BIM.

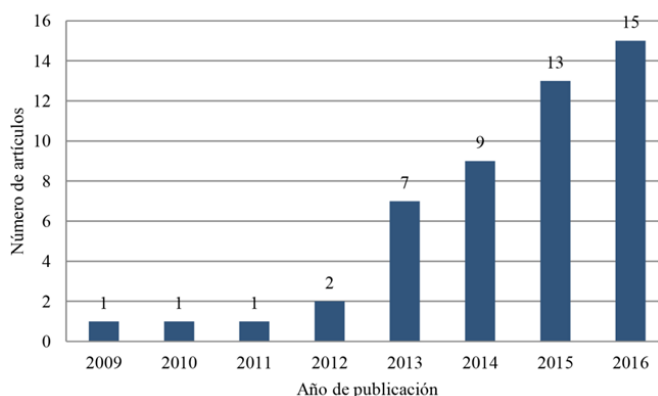


Figura 2: Distribución de artículos según año de publicación

3.2. PUBLICACIONES DISTRIBUIDAS POR PAÍSES

La distribución ha sido analizada en función del país de referencia del autor e institución principal donde se han realizado las investigaciones. Del análisis se han obtenido investigaciones de 13 países pertenecientes a 4 continentes distintos (ver Figura 3).

El país que presenta mayores publicaciones es EEUU, con un 40% de los artículos, seguido de China con 21% y Corea del Sur 13%. Mientras que el resto de países oscila entre un 2-7% de las publicaciones.

Desde un punto de vista global, aunque EEUU es el país con mayor número de investigaciones, es en el continente asiático donde se han producido el mayor número de contribuciones, con el 46% del total.

EEUU es el líder global en desarrollo e implementación de BIM en el sector de la construcción [14]. Este país fue el pionero en implementar el uso de BIM en los proyectos públicos desde 2007.

También han desarrollado una serie de directrices y normas que incluye la 'National BIM Standard' que es reconocida a internacionalmente. En cambio, China y Corea del Sur tienen un nivel de implementación relativamente más bajo comparado con otros países (como son Reino Unido y los países escandinavos), sin embargo el número de

investigaciones publicadas sobre seguridad y BIM es considerablemente mayor.

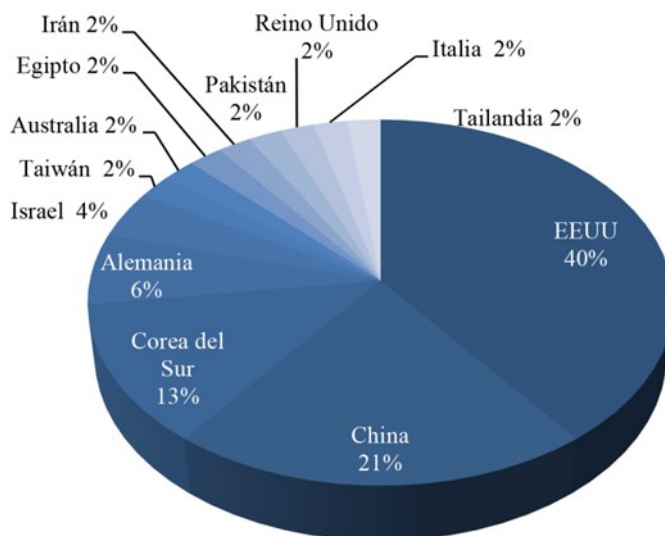


Figura 3: Porcentaje de publicaciones según país de publicación

3.3. PUBLICACIONES EN FUNCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La principal aplicación de estas tecnologías en BIM es la identificación y visualización de riesgos. La Fig. 4 muestra la distribución de la tecnología aplicada en las diferentes publicaciones.

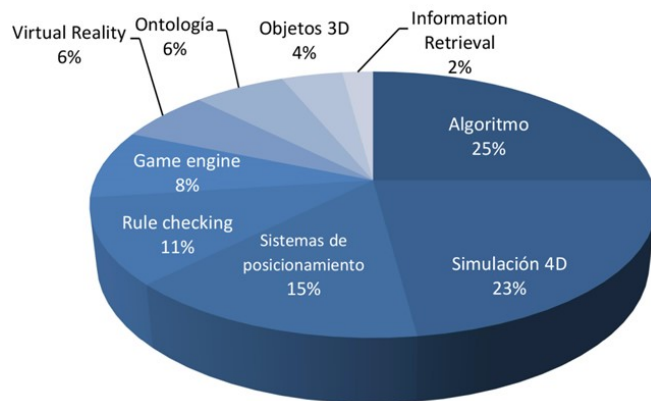


Figura 4: Porcentaje de publicaciones según tecnología aplicada

En cuanto a las tecnologías más empleadas, cabe destacar que casi el 50% de las publicaciones se distribuyen en el uso de algoritmos (25%), y el uso de la simulación 4D (23%).

En el siguiente grupo se encuentra la utilización de sistemas de posicionamiento a tiempo real, 'rule checking', motores de videojuegos, realidad virtual y ontologías ocupando cada una de ellas entre el 15-6%. En un último grupo encontramos el uso de 'Information Retrieval' y diseño de objetos 3D, con 4-2% de las publicaciones. La primera tecnología empleada junto con BIM para la gestión de seguridad es el uso de algoritmos [15], con la finalidad de mostrar la exposición de los trabajadores frente a peligros derivados de la actividad

de otra cuadrilla (como por ejemplo la pérdida de control de herramientas o materiales). La siguientes tecnología aplicada fue la simulación 4D para la identificación de los riesgos de caída en altura [16].

Dado que las tecnologías de simulación 4D y el uso de algoritmo fueron las primeras herramientas en utilizarse aplicadas a la metodología BIM, el número de artículos publicados es mayor en este ámbito que en otras tecnologías.

En los últimos años el número de tecnologías aplicadas en las investigaciones se ha visto diversificado. La Tabla 2 muestra un resumen de la distribución de las tecnologías aplicadas a la metodología BIM en las diferentes publicaciones, en función su finalidad en la gestión de la seguridad.

Tecnología aplicada	Gestión de seguridad	Referencias
Algoritmo	Identificación de riesgos. Evacuación en caso de emergencia	[15, 17]
Simulación 4D	Identificación de riesgos y congestión de espacios de trabajo	[18, 19]
Sistemas de posicionamiento a tiempo real	Identificación de riesgos a tiempo real y zonas peligrosas. Detección de riesgo de colisión.	[20, 21]
Rule-checking	Identificación de riesgos de caída en altura. Riesgos derivados de las instalaciones auxiliares	[10, 22]
Motor de videojuegos	Formación de seguridad	[23, 24]
Realidad virtual	Formación de seguridad	[25, 26]
Ontología	Gestión de la información de seguridad	[27, 28]
Information retrieval	Recuperación de información de accidentes	[29]

Tabla 2: Aplicación de las diferentes tecnologías a la gestión de seguridad y BIM

3.4. PUBLICACIONES EN FUNCIÓN DE LA FASE DE PROYECTO

La Fig. 5 muestra la distribución de las publicaciones en función de la fase del proceso constructivo. [30] al ser una metodología de reciente aplicación la mayoría de los estudios se enfocan en la primera fase del proceso constructivo.



Figura 5: Porcentaje de publicaciones según fase del proceso constructivo

En la fase de construcción se distribuye el 20% de los artículos, mientras que en fase de mantenimiento un 14%. Durante la investigación se ha decidido incluir los estudios referentes a formación, que aunque no es una fase propia del proceso constructivo, forma parte de todo el proceso. En fase de diseño cabe destacar el empleo de la simulación 4D orientada a la planificación y congestión de los espacios de trabajo [30] y a la identificación y visualización de riesgos [18, 31]. En fase de construcción destaca el empleo de sistemas de posicionamiento a tiempo real (Real time location system) para la obtención de datos a tiempo real sobre seguridad [21, 32, 33]. En fase de mantenimiento destaca el uso de algoritmos para las evaluaciones y planificaciones de recorridos y evacuaciones de emergencia [34-36]. En formación de seguridad destaca el empleo de motores de videojuegos y realidad virtual [23, 24, 26, 37].

4. CONCLUSIONES

El interés y uso de la metodología BIM en el sector de IAC ha sufrido un crecimiento exponencial durante la última década. Esta metodología pretende revolucionar el sector, ya que el objetivo principal es que todos los agentes intervinientes en el proceso colaboren y trabajen sobre un único modelo 3D. Esta característica ofrece la posibilidad de que todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo aporten y compartan información relacionada con la seguridad, mejorando así la prevención desde el diseño y combatiendo el riesgo desde el origen. El uso del mismo modelo permite evitar la duplicidad de documentación, permitiendo a los agentes trabajar sobre una misma plataforma que muestra posibles interferencias que puedan derivar en riesgos o accidentes. De acuerdo con la revisión bibliográfica se observa que desde el año 2013 existe un aumento en el interés en la aplicación del BIM a la gestión de la Seguridad.

El país con un mayor número de publicaciones es Estados Unidos, el cual es uno de los países líderes en la implementación del BIM en el sector de la construcción. Cabe destacar que el segundo país con mayor publicaciones es

China, donde aunque la implementación del BIM se encuentra en una etapa inicial, el interés en su aplicación a la seguridad les ha llevado a ampliar las investigaciones en este campo más que en otros países donde la implementación del BIM está más desarrollada (como por ejemplo el Reino Unido).

Por otro lado, el mayor número de investigaciones se centran en fase de diseño, 52% del total, frente al 23% en fase de construcción, 12% en fase de mantenimiento y 13% en formación.

Esta razón atiende a que al ser una metodología de reciente implantación la mayor parte de las investigaciones se centran en fase de diseño. Entre los principales avances que encontramos en el uso de esta metodología aplicada a la seguridad son la automatización en la identificación de riesgos y aplicación de medidas preventivas, la identificación de congestión de espacios de trabajo, la información de seguridad a tiempo real y la creación de entorno virtuales que mejoran tanto el aprendizaje como la gestión de la seguridad.

Un aspecto importante a destacar es el uso de nuevas tecnologías a lo largo de todo el proceso constructivo. Entre ellas por su relevancia cabe remarcar el uso de algoritmos y simulación 4D, seguidos por sistemas de posicionamiento a tiempo real y reglas de verificación (rule checking).

En el empleo de algoritmos y simulación 4D destaca su uso para identificación de riesgos, mientras que el empleo de rule checking está enfocado a la identificación de riesgos de caída en altura.

El empleo de sistemas de posicionamiento se utiliza para obtener información de seguridad a tiempo real, siendo la identificación de riesgos por colisión (entre maquinaria y trabajadores a pie) su principal uso.

5. REFERENCIAS

- [1] EUROSTAT, "Accidents at work statistics," Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities, 2018.
- [2] J. A. Gambatese, J. W. Hinze, and C. T. Haas, "Tool to design for construction worker safety," *J. Arch. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 32-41, 1997.
- [3] A. López-Arquillos, J. C. Rubio-Romero, and M. D. Martínez-Aires, "Prevention through Design (PTD). The importance of the concept in Engineering and Architecture university courses," *Saf. Sci.*, vol. 73, pp. 8-14, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.006>
- [4] P. Lorent, "From drawing board to building site: Working conditions, quality and economic performance," Office of Official Publications of the European Community, Luxembourg, 1991.
- [5] A. López Valcárcel, "Panorama internacional de la seguridad y salud en el trabajo de construcción," *El Criterio de la OIT [En línea]*. Disponible en Internet < URL: http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/cinte/main.htm >. [Citado en 10 de mayo del 2013].
- [6] COM(2008) 698 final. 6.11.2008. Relativa a la aplicación práctica de las Directivas 92/57/CEE (obras de construcción temporales o móviles) y 92/58/CEE (señalización de seguridad en el trabajo) en materia de salud y seguridad en el trabajo, Bruselas: 2008.
- [7] R. T. Szymberski, "Construction project safety planning," *Tappi journal (USA)*, pp. 0734-1415, 1997.
- [8] D. Bryde, M. Broquetas, and J. M. Volm, "The project benefits of building information modelling (BIM)," *Int. j. proj. manag.*, vol. 31, no. 7, pp. 971-980, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- [9] C. M. Eastman, C. Eastman, P. Teicholz, and R. Sacks, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons, 2011.
- [10] S. Zhang, J. Teizer, J.-K. Lee, C. M. Eastman, and M. Venugopal, "Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules," *Autom. Constr.*, vol. 29, pp. 183-195, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.05.006>
- [11] F. Rodrigues and A. Alves, "Contribution of BIM for hazards' prevention through design," *Occupational Safety and Hygiene III*, pp. 67-69, 2015.
- [12] K. Ku and T. Mills, "Research needs for building information modeling for construction safety," in *International Proceedings of Associated Schools of Construction 45nd Annual Conference*, Boston, 2010.
- [13] McGraw-Hill Construction, "The Business Value of BIM For Construction in Major Global Markets: how contractors around the world are driving innovation with building information modeling," *Smart MarketReport*, 2014.
- [14] A. K. D. Wong, F. K. Wong, and A. Nadeem, "Comparative roles of major stakeholders for the implementation of BIM in various countries," in *Proceedings of the International Conference on Changing Roles: New Roles, New Challenges*, Noordwijk Aan Zee, The Netherlands, 2009, pp. 5-9.
- [15] R. Sacks, O. Rozenfeld, and Y. Rosenfeld, "Spatial and temporal exposure to safety hazards in construction," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 135, no. 8, pp. 726-736, 2009. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:8\(726\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:8(726))
- [16] V. Benjaoran and S. Bhokha, "An integrated safety management with construction management using 4D CAD model," *Saf. Sci.*, vol. 48, no. 3, pp. 395-403, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.09.009>
- [17] K. Kim, Y. Cho, and S. Zhang, "Integrating work sequences and temporary structures into safety planning: Automated scaffolding-related safety hazard identification and prevention in BIM," *Autom. Constr.*, vol. 70, pp. 128-142, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.06.012>
- [18] Y. Zhou, L. Y. Ding, and L. J. Chen, "Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction," *Autom. Constr.*, vol. 34, pp. 25-36, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.011>
- [19] B. Choi, H.-S. Lee, M. Park, Y. K. Cho, and H. Kim, "Framework for work-space planning using four-dimensional BIM in construction projects," *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 140, no. 9, pp. 04014041, 2014. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000885](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000885)
- [20] H. Kim, H.-S. Lee, M. Park, B. Chung, and S. Hwang, "Automated hazardous area identification using laborers' actual and optimal routes," *Autom. Constr.*, vol. 65, pp. 21-32, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.01.006>
- [21] O. Golovina, J. Teizer, and N. Pradhananga, "Heat map generation for predictive safety planning: Preventing struck-by and near miss interactions between workers-on-foot and construction equipment," *Autom. Constr.*, vol. 71, pp. 99-115, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.008>
- [22] S. Zhang, K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. M. Eastman, and J. Teizer, "BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning," *Saf. Sci.*, vol. 72, pp. 31-45, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.08.001>
- [23] A. Albert, M. R. Hollowell, B. Kleiner, A. Chen, and M. Golparvar-Fard, "Enhancing construction hazard recognition with high-fidelity augmented virtuality," *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 140, no. 7, Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000860](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000860)

- [24] H. Li, G. Chan, and M. Skitmore, "Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology," *Autom. constr.*, vol. 22, pp. 498-505, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.11.009>
- [25] H. Li, M. Lu, G. Chan, and M. Skitmore, "Proactive training system for safe and efficient precast installation," *Autom. Constr.*, vol. 49, pp. 163-174, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.010>
- [26] A. Perlman, R. Sacks, and R. Barak, "Hazard recognition and risk perception in construction," *Saf. sci.*, vol. 64, pp. 22-31, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.11.019>
- [27] S. Zhang, F. Boukamp, and J. Teizer, "Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA)," *Autom. Constr.*, vol. 52, pp. 29-41, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.005>
- [28] L. Y. Ding, B. T. Zhong, S. Wu, and H. B. Luo, "Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology," *Saf. Sci.*, vol. 87, pp. 202-213, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.04.008>
- [29] H. Kim, H.-S. Lee, M. Park, B. Chung, and S. Hwang, "Information retrieval framework for hazard identification in construction," *J. Comput. Civil. Eng.*, vol. 29, no. 3, pp. 04014052, 2013. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000340](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000340)
- [30] H. Moon, N. Dawood, and L. Kang, "Development of workspace conflict visualization system using 4D object of work schedule," *Adv. Eng. Inform.*, vol. 28, no. 1, pp. 50-65, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2013.12.001>
- [31] H. L. Guo, H. Li, and V. Li, "VP-based safety management in large-scale construction projects: A conceptual framework," *Autom. Constr.*, vol. 34, pp. 16-24, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.013>
- [32] T. Cheng and J. Teizer, "Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications," *Autom. Constr.*, vol. 34, pp. 3-15, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.017>
- [33] S. Zhang, J. Teizer, N. Pradhananga, and C. M. Eastman, "Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning," *Autom. Constr.*, vol. 60, pp. 74-86, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.009>
- [34] S.-H. Wang, W.-C. Wang, K.-C. Wang, and S.-Y. Shih, "Applying building information modeling to support fire safety management," *Autom. Constr.*, vol. 59, pp. 158-167, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.02.001>
- [35] P. Abolghasemzadeh, "A comprehensive method for environmentally sensitive and behavioral microscopic egress analysis in case of fire in buildings," *Saf. sci.*, vol. 59, pp. 1-9, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.04.008>
- [36] N. Li, B. Becerik-Gerber, B. Krishnamachari, and L. Soibelman, "A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations," *Autom. Constr.*, vol. 42, pp. 78-89, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.019>
- [37] U. Ruppel and K. Schatz, "Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations," *Adv. Eng. Inform.*, vol. 25, no. 4, pp. 600-611, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.08.001>

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

The CITYFiED Methodology for city renovation at district level

La metodología de CITYFiED para la renovación urbana a escala distrito

ESTEFANÍA VALLEJO

Architect, Fundación CARTIF, Energy department, Parque Tecnológico de Boecillo, 205, 47151 Boecillo, Spain. estval@cartif.es

CRISTINA CRIADO

Architect, ACCIONA Engineering, Consultancy services department, Anabel Segura, 11, D, 28108 Alcobendas, Spain. ccriado@acciona.com

ENKO ARRIZABALAGA

Industrial engineer, TECNALIA Research and Innovation, Parque Científico y Tecnológico. Vizcaya, Spain. eneko.arrizabalaga@tecnalia.com

GIULIA MASSA

Building engineer, Fundación CARTIF, Energy department, Parque Tecnológico de Boecillo, 205, 47151 Boecillo, Spain. giumas@cartif.es

ALI VASALLO

Industrial engineer, Fundación CARTIF, Energy department, Parque Tecnológico de Boecillo, 205, 47151 Boecillo, Spain. alivas@cartif.es

The objective of the CITYFiED Methodology is to support city authorities along the process of working towards a more sustainable and energy efficient cities. Moreover, it encourage the replicability and mass market deployment of energy efficient retrofit of districts, considering as a reference the CITYFiED demonstration actions, decision-making processes and business models. The CITYFiED Methodology is a procedure composed of several phases and a management process that aims to ease the decision-making tasks and what is more, the delivery of a specific plan for each city depending on its needs, vision and objectives. A customized Strategy for the Sustainable Urban Renovation (SSUR) at district level with the energy efficiency as the main pillar and local authorities as clients, will be delivered based on the objectives and needs identified during the analysis and diagnosis phases. The management process is supported by the creation of an External Consultancy Group (ECG) to collaborate with the local authorities, and by providing different tools and indicators that would enable the assessment of the suggested actions (Strategy for Sustainable Urban Renovation) as the comparison with the original situation and objectives. The Methodology is conceived within the context of the CITYFiED project and it considers as reference the three large demonstration actions that include building renovation, district heating networks, integration of renewable energy sources and monitoring, and which are located in Lund (Sweden), Laguna de Duero (Spain) and Soma (Turkey).

Urban Renovation; Decision-making; Energy planning; Municipalities support.

El objetivo de la Metodología CITYFiED es apoyar a las autoridades de las ciudades a lo largo del proceso de creación de ciudades más sostenibles y energéticamente eficientes. Para ello, la metodología fomenta la replicabilidad y el despliegue masivo del mercado de distritos energéticamente eficientes, tomando como referencia las acciones demostrativas del proyecto CITYFiED, los procesos de toma de decisiones y modelos de negocio allí desplegados. La Metodología CITYFiED es un procedimiento compuesto por varias fases y la gestión de las mismas, que apunta a facilitar el proceso de toma de decisiones y, además, a la definición de un plan estratégico específico para cada ciudad según sus necesidades, visión y objetivos. Una Estrategia personalizada de Renovación Urbana Sostenible (SSUR) a escala de distrito, con la eficiencia energética como principal pilar y las autoridades locales como clientes, que se define en función de los objetivos y necesidades identificados durante las fases de análisis y diagnóstico. El proceso de gestión de las fases está respaldado por la creación de un Grupo de Consultoría Externa (ECG) y por la identificación de diferentes herramientas e indicadores que permitirían la evaluación de las acciones sugeridas (Estrategia de Renovación Urbana Sostenible) en comparación con la situación y los objetivos originales. La Metodología se concibe en el contexto del proyecto CITYFiED y considera como referencia las tres grandes acciones de demostración que incluyen rehabilitación energética de edificios residenciales, redes de calefacción urbana, integración de fuentes de energía renovables y monitorización, y que se han implementado en 3 ciudades europeas, Lund (Suecia), Laguna de Duero (España) y Soma (Turquía).

Renovación urbana; Toma de decisiones; Planificación energética; Apoyo a las municipalidades.

ABBREVIATIONS:

AHP: Analytic Hierarchy Process
BEP: BIM Execution Plan
BIM: Building Information Model
ECG: External Consultancy Group

ECM: Energy Conservation Measures
ESCO: Energy Service Company
GIS: Geographic Information Systems
IPD: Integrated Project Delivery
KPI: Key Performance Indicator
LCA: Life Cycle Analysis

LCCA: Life Cycle Cost Analysis
MCDA: Multi-criteria Decision Analysis
SEP: Sustainable Evaluation Plan
SIP: Strategy implementation Plan
SSUR: Strategy for the Sustainable Urban Renovation

1. INTRODUCCIÓN

The optimization and the particularization of the urban energy planning processes to each city is becoming an increasing necessity for municipalities. According to the literature, the specific dimensions covered by this concept can vary depending on its interpretation. However, most of the authors agree on the necessity of adopting a holistic perspective including the techno-economic, social and environment aspects when approaching to the problem.

During the last years, a great activity has occurred in this field. Many efforts have been made in the standardization of smart cities. An example of it, is the case of the Technical Committees and Working Groups of the ISO TC/268 Sustainable cities and communities. Nevertheless, most of these works are focused on the definition of several common criteria and a methodology for measuring the level of smartness and the sustainability of cities. Although this is a relevant part of the energy planning process, which provides a better understanding of the initial situation and the evolution of the performance of cities, several aspects such as the relation with the decision that are made during the energy planning process are not clearly established.

From another point of view, the advances occurred in the field of the energy modelling and the scenario development at city scale need to be also mentioned. This practice has been traditionally more used for energy planning issues at national scale but nowadays the interest for applying this approach to the regional and city context is increasing rapidly. However, as described by Park [1] the scope of city planning includes also a range of interdependent decisions at the nexus of the private and public spheres. Besides, as in the cases of the sustainability assessment frameworks of cities, the way of considering the role of the main stakeholders during the entire energy planning and more specifically in the decision-making process is difficult to understand when focusing the view in the detailed technical aspects of the energy modelling.

Despite all this experiences and activities in the field, energy planning of cities is still a challenge. An important part of the complexity relies on the necessity of combining many different technical and non-technical phases in which the role and the interaction of a number of different stakeholders need to be properly considered. Besides, in most of the cases little information is available about how and in which phases the decisions are adopted. Moreover, many municipalities do not have the needed specialized and diverse capacities required to cover the entire process. Most of them depend on external consultancy groups that guide them.

But the specific process to be followed is still unclear and there is a need of holistic methodologies and tools that consider a global approach and that define clearly the procedure for considering in each phase the participation of the stakeholders

identified for the city. This will provide a clearer vision about how the decisions have contributed to the achievement of the final results. In this context, under the umbrella of Sustainable Strategic Urban Planning, a novel methodology for urban renovation at district level is proposed and validated by the European Smart City project CITYFIED (Grant Agreement N° 609129).

2. CITYFIED METHODOLOGY FOR CITY RENOVATION AT DISTRICT LEVEL

Meeting the ambitious targets set by the European Union (EU), i.e. reducing greenhouse gas emissions 20% by 2020, 40% by 2030 and 80% by 2080 respect to the values of 1990 is essential to reach the objectives of the Paris Agreement [2]. This agreement aims to limit the temperature rise this century below 2 degrees Celsius above pre-industrial levels. The role of cities in climate change mitigation is currently acknowledged, particularly in European cities where more than the 70% of the population lives in urban areas [3]. Besides, it is expected that two third of the world's population will be living in an urban area by 2050 [4].

More specifically, small and medium sized cities are the ones that represent the highest improvement potential considering that they represent the 83% of the European cities [5]. Besides, around 45% of their buildings were built before 1969, 32% between 1970 and 1989 and only 9.3% in the 90's, what represents a huge opportunity due to the massive amount of buildings that are susceptible to be refurbished.

Therefore, the energy consumption reduction in cities and particularly in the building sector is a theme of interest for the European Union. However, it is still a challenge for municipalities to decide how to define and prioritize the different measures that can be implemented in the different zones of the cities. In this regard, one of the first steps is the identification of the areas of the city that are susceptible to be intervened. This is precisely the step in which the city analysis through the evaluation of its districts is useful and necessary.

Among other benefits, the evaluation at district scale facilitates developing a more detailed analysis covering aspects such as; the identification of the current situation, the identification of the specific objectives and necessities, the modelling of the different scenarios for the energy, social and economic analysis, the prioritization of measures and the identification of the optimum scenario.

On the other hand, it is relevant to remark that in the context of the sustainable urban renovation, the decision makers are generally political and social players who establish goals and who define priorities for the city according to the information that they have available. Taking this into account, the role of methodologies and tools that provide a comparison of the existing alternatives is essential to support the decision makers

during the prioritization phase. Here, both the need of innovative methods and the collaboration of municipalities with external consultancy groups that can guide them in the application of these methods is a key issue.

The CITYFiED Methodology is a procedure composed of 7 phases and a decision-making process. The methodology aims to cover the entire planning process of the sustainable urban renovation from the city understanding to the final improvement scenario selection, implementation and monitoring considering as the main pillar the energy efficiency and as the main client the local authorities. With the base of the experiences in the large CITYFiED demonstration cases in the cities of Lund (Sweden), Laguna de Duero (Spain) and Soma (Turkey), the CITYFiED Methodology ensures the effective dialogue among all stakeholders in all its phases increasing the transparency of the decisions made. In the methodology, the process is supported by different tools and levels of indicators.

3. HOW CITYFiED METHODOLOGY SUPPORTS THE MUNICIPALITIES MANAGING THE CITY RENOVATION AT DISTRICT LEVEL?

3.1 INVOLVING THE MAIN GROUPS OF STAKEHOLDERS

City renovations are usually promoted by the public administration, representing citizens' interest, to improve the sustainable performance of an urban area. The municipality usually relies on external stakeholders to carry out part of the work for the activities development during the renovation. This model corresponds to a common organization in which also public participation is included, as it is shown in current methodologies for urban planning as Sustainable Action Plans

by the European Commission (2010) [6] or sustainable development studies by Dalal-Clayton, B. and Bass, S. (2006) [7], among others.

With the idea of establishing an effective dialogue between them, the CITYFiED methodology identifies three groups of stakeholders partially based on this common organization: 'Experts representing the Municipality', 'Consultant experts and stakeholders from the building, energy and financial sectors', and 'Citizens and other stakeholders' participation'. As an innovative aspect, the methodology forecasts the involvement of an ECG to support the Municipality and facilitate the decision-making process. This organization, shown in Figure 1, is proposed to be followed during the methodology deployment to achieve the best management and communication results.

As explained before, Municipalities are included as potential users and promoters of this methodology.

3.1.1 EXPERTS REPRESENTING THE MUNICIPALITY

The 'Experts representing the Municipality' corresponds to those professionals from the public bodies that would be involved in the sustainable renovation. According to the previous literature review – as [6], [7], [8] or [9] –, they are proposed to be organized in different committees that can already exist or be created for the methodology purposes:

- ◆ Steering committee: This committee includes the decision makers from the Municipality, as politicians, urban managers, representatives from energy or sustainability departments, etc. Decisions are expected to be made in favour of the citizens' interests with the support of the Technical committee and the ECG.

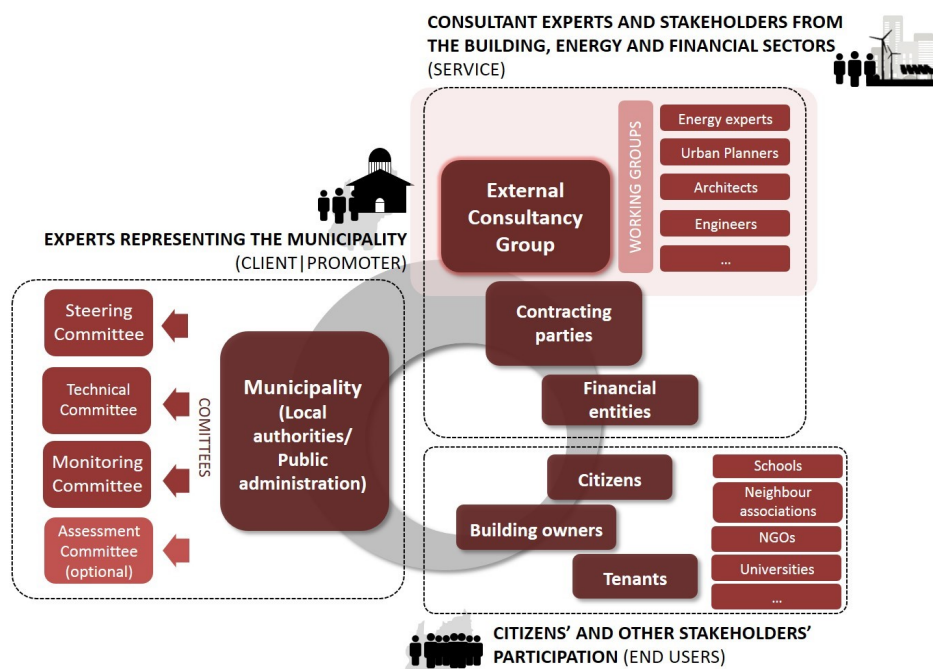


Figure 1: Stakeholders defined in the CITYFiED methodology

Their participation is focus in the first stages of the process, the decision-making and the final evaluation:

- Establishment of the objectives for the city considering citizens' feedback.
 - Selection of the scenario to be implemented, advised by the ECG and the Technical groups.
 - Definition of the business model for implementation.
 - Ensuring long-term commitment and monitoring process.
 - Provision of the necessary tools for public participation.
- ◆ Technical committee: This group consist of urban planners, engineers, architects, energy experts, etc. as professionals from the Municipality with the necessary background. They could be organized in turn in different working groups.
- Establishment of the general technical criteria.
 - Collaboration with the ECG during analysis of the city and district, measures and scenarios selection.
 - Technical definition of the measures to be implemented for the selected scenario.
 - Follow-up and quality control during implementation.
- ◆ Monitoring committee: These technicians could be the same from the Technical committee. They are in charge of supervising the commissioning, monitoring and final evaluation, and defining the protocols.
- ◆ Assessment committee: This optional committee can be formed with decision makers from higher levels of the public administration, supporting the establishment of the objectives and, the scenario selection or the corrective actions.

3.1.2 CONSULTANT EXPERTS AND STAKEHOLDERS FROM THE BUILDING, ENERGY AND FINACIAL SECTOR

The 'Consultant experts and stakeholders from the building, energy and financial sector' provide services to the Municipality during the renovation, as a response to the technical, financial or execution demands:

- ◆ External Consultancy Group (ECG): This is a multidisciplinary group of professionals expected to establish a fluent dialogue with the Municipality along the process. It is formed by professionals from different sectors attending to the city and the project needs: energy and environmental consultants, technicians, engineers, urban planners, financial analyzers, policy makers, etc.

Its participation is remarkable during the first part of the process during phases I to V, to achieve the sustainable strategies definition as will be shown in section 3.3. It collaborates to the city and district understanding and

supports the measures feasibility analysis and the scenario prioritization, in coordination with the Technical committee. The scope of their work would depend on the Municipality needs or requirements. The main advantages of having this group since the beginning of the process are:

- Wide knowledge and expertise in energy and sustainable project, what decreases risks and costs.
 - Multi-criteria analysis of measures and scenarios, supporting the prioritization and easing the decision-making.
 - Inclusion of economic and social perspectives (wide perspective).
 - Support on tools defined in the methodology, as the CITYFIED indicators.
- ◆ After the scenario selection and definition, it is necessary to count on the participation of the 'Contracting parties' for the strategies implementation. They provide materials and equipment or services to the Municipality according to the specifications defined on an agreed time and cost. These are construction companies, suppliers, providers, etc.
- Usually the selection of these entities is required to be done through a public tender/bidding process and according to the method of procurement and project delivery method selected.
- The scope of their work is:
 - Technical definition of the measures, if it according to the procurement process selected.
 - Provision of materials and equipment.
 - Implementation of the strategies supervised by the Technical committee..
- ◆ Financial institutions: can be involved in the methodology deployment in relation with the financing mechanisms to upfront the investments and business models to be followed during the renovation.

3.1.3 CITIZENS' AND OTHER STAKEHOLDERS PARTICIPATION

'Citizens' and other stakeholders' participation' is essential since they are considered the end users of the renovation. Inside this group, it could be distinguished between citizens, building owners and tenants, and other institutions (NGOs, universities, etc.). The Steering committee is in charge of including this participation through different techniques and mechanisms to their engagement.

The integration of this group since the beginning of the process guarantees the long-term acceptance and makes it more transparent, avoiding future barriers. There are different social aspects included along the phases of the methodology,

as the social indicators, the evaluation of social acceptances or the non-technological barriers, among others. Their participation is included in almost all phases:

- ◆ Feedback from the city understanding: collaboration in the definition of city and district needs.
- ◆ Reception of information during the analysis of measures and possibilities.
- ◆ Participation in the decision-making process when the scenario to be implemented is selected.
- ◆ Feedback about the renovation and lessons learnt.

In this framework, it is recommended to follow a collaborative work approach. This means to take into account organizational and management aspects (periodic meetings, reports, etc.), but also including other drivers to achieve a fluent cooperation. In this sense, it is recommended to follow Integrated Project Delivery (IPD) principles [10] - to the maximum extent that the public procurement allows – and Building Information Model (BIM) tools and approach that provide a common communication and work environment.

3.2 PROVIDING SUPPORTING TOOLS FOR DECISION-MAKING

The CITYFiED project aims to develop a methodology that supports local authorities in implementing holistic strategies to move towards energy efficient districts. As previously mentioned, the collaboration between stakeholders plays a key role in the decision-making phase of district renovation, but another aspects that can support and ease this process is the integration of a set of tools that can be implemented through the whole project.

The utilization of available tools in selecting energy-efficient measures and interventions assure more accurate analysis and allow to avoid mistakes and waste of resources. In CITYFiED methodology, several tools have been proposed, as they are collected in the following paragraphs, as CITYFiED Key Performance Indicators (KPIs) for district renovation, Energy Simulation Software tools, Geographic Information Systems (GIS) tools, Life Cycle Cost Analysis (LCCA) tools and the proposal of the CITYFiED Replication Model. (Figure 2)

3.2.1 CITYFiED KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPIs) FOR DISTRICT RENOVATION

In recent years, different frameworks for performance measurement have been developed in order to evaluate urban systems. CITYKeys, SCIs and CONCERTO are only examples of the several initiatives and projects that have been carried out to elaborate efficient methods to collect, monitor and compare data across European cities.

CITYFiED project aims to give its contribution proposing a set of Key Performance Indicators that supports the validation of the innovative methodology for city renovation at district level and the assessment of the retrofitting processes in three demonstration cases.

Since the CITYFiED methodology aims to facilitate the decision-making process towards the development of Strategies for Sustainable Urban Renovation, CITYFiED KPIs consist in an assessment framework that covered the seven phases of the procedure. Because of that, this assessment framework is divided in three levels:

- ◆ City indicators (Level 1),

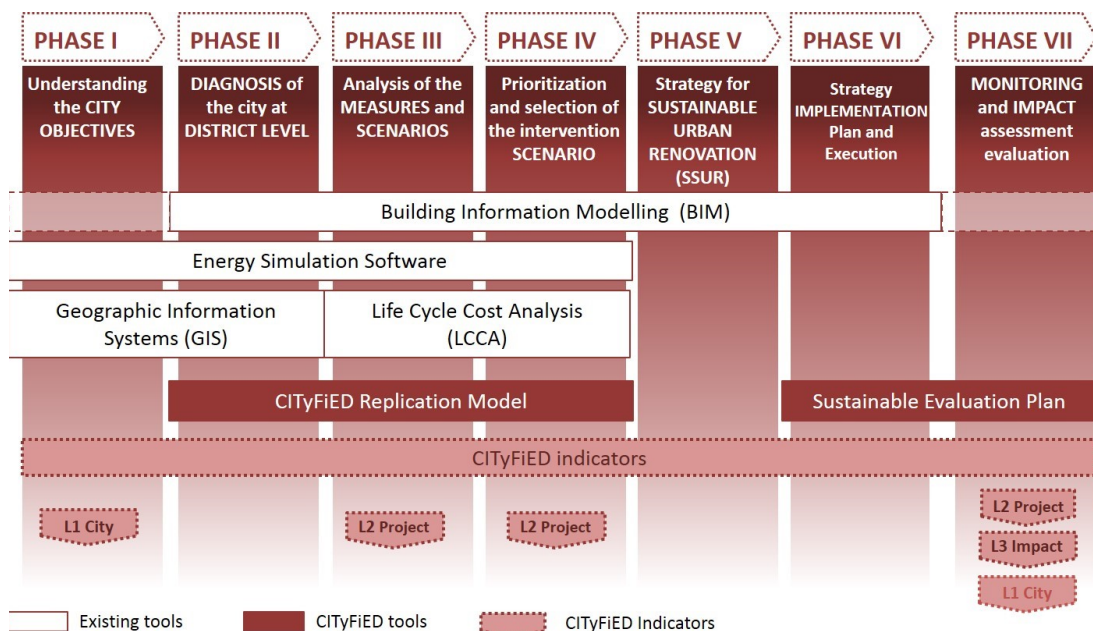


Figure 2: Proposed tools for the decision-making process

- ◆ Project Key Performance Indicators (Level 2),
- ◆ Impact Assessment indicators (Level 3).

Level 1 indicators help to analyse the city at the early stage, to evaluate different measures and scenarios according to the city needs, and finally to measure the impact at city level to assess the sustainable renovation with respect to the initial targets.

Furthermore, Level 2 embody a key-role in the definition and deployment of the SEP in which protocols and methods are defined in order to evaluate the success of the implemented actions. Gathering information about Energy, ICT tools, Quality control of interventions, Economic evaluation, Social acceptance and Life Cycle Analysis (LCA) will allow the comparison between the status of the project before and after the intervention.

Finally Level 3 indicators were defined for impact assessment of retrofitting actions, in order to evaluate the impact of the measures and projects deployed in the districts.

3.2.2 BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) FOR DISTRICT RENOVATION

Building Information Modelling consists in a collaborative work methodology for the creation and management of a project and allows sharing information in a database within a platform. The innovative aspects of using BIM is that all the involved stakeholders can access to digital information, not only the 3D model (graphical information) but also non graphical information stored in the model and modify it in real time. The use of BIM finds a wide range of application through a facility's life cycle from its programming and conceptual design, passing for construction and operation phases to its demolition or renovation.

In CITYFiED project, the use of BIM is proposed through all the phases of the project: in particular, BIM Models were created and a key-aspect for its utilization was the definition of the BEP (BIM Execution Plan) in order to manage processes, workflows and people involved on BIM. Using BEP as guide during the process assures that all the partners involved are aware of opportunities and responsibilities associated to the BIM implementation.

3.2.3 ENERGY SIMULATION SOFTWARE TOOLS FOR DISTRICT RENOVATION

Energy simulation software are relevant tools when it comes to energy renovation projects at district level, since the diagnosis of the energy performance of a building is the starting point to proceed with the implementation of energy efficient measures that produce energy and cost savings.

In CITYFiED methodology, energy simulation tools are proposed to estimate the energy performance of the buildings

before the retrofitting in order to allow an accurate study and select the most effective energy conservation measures to be implemented. Energy simulation tools are used to compare different design alternatives and scenarios in order to facilitate the selection of the most efficient one. However, these tools generated exhaustive technical data about energy demand and energy consumption, CO₂ emissions but non-technical data have been considered separately. Furthermore, energy performance simulation results are valuable data but in any case they should be validated with the assessment of real performance.

3.2.4 GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS) TOOLS FOR DISTRICT RENOVATION

Geographic information system are tools that have for the capability to capture, store, manage, retrieve, analyse, and display spatial information and this functionality represents a relevant potential for planning and managing district renovation.

The utilization of GIS tools allows collecting quantitative and qualitative data that can be geo-referenced and visualized through web-mapping. Furthermore, crossing the storage information could provide additional data that can support the decision-making phase in district renovation.

3.2.5 LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCCA) TOOLS FOR DISTRICT RENOVATION

Another tool, which in the last years has become more relevant, is the Life Cycle Cost Analysis, this type of methods allow making a cost effectiveness estimation of the alternatives and scenarios that can be implemented in a district retrofitting project. The LCCA focuses on a long-term study that takes into account all the investment costs from the first steps of the project as planning and design, the operation and maintenance costs to the last phase of the project as demolition and renovation.

In CITYFiED, a LCCA had been realized and it gave support to the ECG and technicians during the definition of the most suitable alternatives and scenarios.

3.2.6 CITYFiED REPLICATION MODEL

The Replication model is one of the main results of CITYFiED project and consists in a time-saving tool developed in order to evaluate and maximise the replication potential of CITYFiED technologies and strategies already implemented in the three demonstration cases.

The Replication Model has the goal to support stakeholders interested in implementing energy saving measures and strategies in their cities. Furthermore, the replication model offers a framework for a virtual feasibility study for assessing

the replication potentials of energy efficient actions in other districts.

The Replication Model consists in a dual approach: a quantitative energy model approach where the current energy demand and supply, including energy sources and smart grid solutions, are analysed and a qualitative approach in which methods for investigating non-technological barriers and possibilities as well as possible business models for retrofiting are considered.

Since energy efficiency at district level is the main pillar of CITYFiED project, the Replication Model is deployed at district scale and can be associated at several phases of the CITYFiED methodology (Phase II, III and IV). This time-saving tool finds its application as:

- ◆ Tool for diagnosis district, supporting the identification of the needs and objectives of suitable districts;
- ◆ Tool for exploring energy efficient alternatives and scenarios, evaluating which are the most suitable actions of CITYFiED basket technologies measures according to the city's needs;
- ◆ Tool for prioritization and impact assessment, allowing the selection of the most efficient scenarios that achieves the specific objectives of the selected district.

3.3 DEFINING A SYSTEMATIC PROCESS

The Methodology is deployed in seven phases as can be seen in Fig. 3. Each phase ensures an effective dialogue among all the stakeholders previously defined in order to ease the decision-making processes.

It combines both district and city scales, starting with the city and district analysis, proposing initiatives at district level and pursuing the impact of the renovation and the accomplishment with the initial objectives at both scales.

3.3.1 PHASE I: UNDERSTANDING THE CITY

This phase addresses the initial diagnosis of the city with the aim of understanding better its initial situation and the current problems. This analysis, combined with the definition of the long-term city vision provides some clues that can facilitate the identification of the needed transition pathway for the city as well as the definition of its general objectives.

This phase is guided by the Municipality in cooperation with the ECG. Both of them need to interact with other city stakeholders that can contribute during the different steps of this phase especially for the city context information facilitation and for the definition of its general objectives.

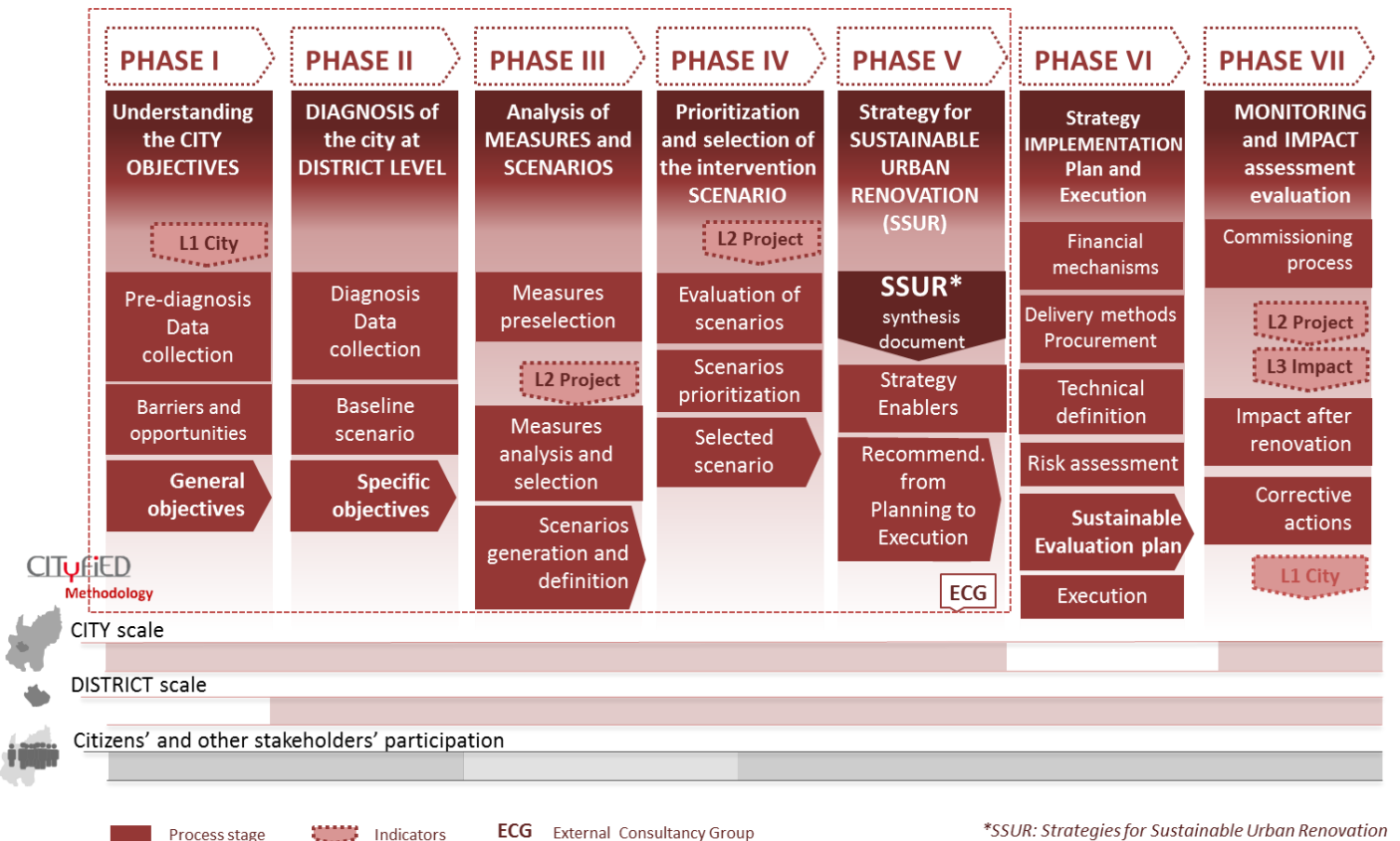


Figure 3: Methodological approach for urban renovation and planning.

In the first one, several stakeholders such as the technical experts of the municipality, or the utilities can contribute providing the data that is needed for the initial analysis. However, the municipality plays the key role in the definition of the objectives of the city.

Several steps can be distinguished in Phase I. The first one is the pre-diagnosis and the data collection in which the city is evaluated with the aim of understanding the current city context. Due to the complexity of the city energy planning, the methodology considers a multi-criteria and holistic perspective from the very beginning. This complexity is shown in the wide variety of city strategic areas (aspects that will be treated by the implementation of specific improvement measure at district and city scale) and application areas (sectors of the city in which the different interventions can be implemented) that compose the analysis matrix of the methodology.

The second step is focused on the calculation of specific City Level Indicators (Level 1) that, through the comparison of their values respect to other cities, allow getting a better understanding about the city's strengths and weaknesses. Level 1 indicators are composed by 17 mobility related indicators, 14 building related indicators and 14 energy related indicators that were the focus of a double validation process. The first one corresponds to internal validation by the cities involved in the CITYFiED project and the second one corresponds to the external validation by the City Cluster and the Community of Interest. The results of this analysis combined with other techniques such as the SWOT analysis or the Workshops, which include the main stakeholders of the city, help to define the general objectives and the long-term city vision.

3.3.2 PHASE II: DIAGNOSIS OF THE CITY AT DISTRICT LEVEL

Based on the results of the Phase I and on a new analysis of the city through the evaluation of its districts, the main objective of the Phase II is to define the specific objectives at district scale. This will help to defined in the Phase III the set of measures that will be part of the alternative scenarios.

The main stakeholders involved in this phase are the Municipality, the ECG and the citizens. Their responsibility and implication is described for each sub-phase.

The first step of this phase aims to define the main focus of the analysis. Here, the role of the Municipality for the selection of the districts that will be renovated in the following years is critical.

The Municipality will have to interact with the ECG in order to understand properly the potential of each district in contributing to the transformation of the entire city. The diagnosis of the selected districts includes among other aspects the evaluation of the potential for integrating renewable

energy technologies or the socio-economic characterization of the area. Besides, the ECG needs to take into account the opinion of the citizens in order to foresee and prevent potential implementation barriers for each of the tentative technologies and measures.

Taking into account all the information gathered at district scale, the energy demand and consumption of the base case scenario are modelled for the district in order to compare suitable scenarios in the next phases. This is a complex analysis in which various methods and tools need to be combined by the ECG to obtain an appropriate characterization.

The output of this analysis will serve to define the specific objectives of the city as well as the specific targets for the improvement of the environmental, economic and social situation of the district.

3.3.3 PHASE III: DEFINITION AND ANALYSIS OF THE INTERVENTION AND SCENARIOS

While the inputs from this phase are the objectives from the city understanding and district diagnosis, the output is the definition of the retrofitting scenarios that could be implemented in the district in alignment with these premises. Phase III is a two-steps approach in which the energy measures are analyzed separately and those selected are combined in the scenarios.

In this phase, the ECG is in charge of the activities. Thanks to its multidisciplinary background, it carries out the feasibility analysis of measures and the scenarios generation supported by the proposed tools. It should be established a fluent dialogue with the Technical committee.

On the other hand, this is the only phase of the methodology in which 'Citizens' and other stakeholders participation' inclusion is minor. The reason is that this phase entails only technical aspects and the decision-making of the individual measures is an intermediate step in the process before achieving the scenarios evaluation and prioritization that will be carried out in Phase IV.

Energy Conservation Measures (ECMs) are defined as 'measures that are applied to a building or group of buildings to improve energy efficiency and are life cycle cost effective and also they involve energy conservation (...)' [1]. The ECMs identified as most cost-effective are shown in a catalogue within the methodology.

The initial step of the phase consists of applying a first filter on the ECMs according to the objectives to achieve defined in phases I and II, to discard some of them. To guide this process, the grade of relationship between measures and some sustainable objectives are shown within the methodology.

Secondly, the preselected ECMs are studied in detail to achieve a final selection, especially considering their energy

and CO₂ emissions savings keeping in mind the final purpose. In parallel, recommendations on the identification of different general barriers and drivers, as well as the synergies between the measures are provided in the methodology.

Finally, also to facilitate the decision-making process, the 'Level 2: CITYFiED project indicators' can be calculated for the selected district and the individual application of each measure to assess the impact of each ECM on the district.

Finally, the measures selected are combined in retrofitting scenarios that aid to predict the results of a package of ECMs application. These scenarios are proposed to be generated selecting the measures attending to their cost of emission mitigation [€/kg CO₂ emissions savings]. Three kinds of scenarios are defined according to this ratio: basic (for those minimum measures that accomplish with the regulation on energy performance), efficient scenarios and advanced scenarios.

3.3.4 PHASE IV: PRIORITIZATION AND SELECTION OF THE INTERVENTION SCENARIO

The main objective of the Phase IV is the prioritization of the alternative scenarios defined for each district. This prioritization is also a complex process that needs to be guided by the ECG. In this phase, the methodology proposes several steps to facilitate the selection of the optimum scenario taking into account the various criteria, which are in many cases conflictive between each other.

Therefore, the municipality needs to interact with the ECG, other technicians and citizens in the different steps of this phase as it is described in the following paragraphs.

In a first step, the ECG evaluates each scenario according to the criteria defined, supported by the calculation of KPIs, which are called in the CITYFiED methodology the Level 2 CITYFiED indicators. These criteria are pre-defined in the methodology but each municipality can give their opinion about their relevance influencing the final selection. These indicators are calculated for each district by the ECG by using different methodologies such as the LCA and the LCCA among others.

In a second step and using a methodology of the Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) theory, the weighting of each criterion is carried out. The methodology proposes to use the Analytic Hierarchy Process (AHP) [12] as main multicriteria methodology for the prioritization phase.

At this stage, the opinion of the Municipality, the ECG, the technical experts and the citizens is the basis for the calculation of the weight that corresponds to each criterion. As a result of this second step, each scenario will have a final punctuation which takes into account simultaneously the results of this scenario for each criterion. This provides a prioritization

order for the evaluated scenarios in a simple way that can be used by the municipalities for making the final choice.

3.3.5 PHASE V: STRATEGIES FOR SUSTAINABLE URBAN RENOVATION (SSUR)

The main objective of Phase V is the definition of the Strategy for Sustainable Urban Renovation, according with the results obtained from Phases I to IV.

This strategy is materialized as a synthesis document, which includes guidelines and recommendations in order to support the strategy implementation and ensure its goals achievement in the following phases.

Moreover, the SSUR defines which groups of stakeholders are necessary for its implementation. Local authorities, especially the Technical committee – and the ECG if it is desired by the Municipality – are in charge on the development of this important document.

The SSUR document should collect firstly, a review of the work done in the previous phases, therefore the definition of the city and district problems and the targets are summarized.

Secondly, the intervention area will be identified, and the measures of the selected scenario in Phase IV, are turn into a strategy within the pathway of the city, by identifying its risks, providing possible business models or financial mechanism, or guidelines to the Strategy Implementation Plan (SIP).

In order to ensure the organisational capability and stakeholders' engagement, different processes have to have been applied during the previous phases, and their main results will be reported also within this document.

Last but not least, SSUR document collect recommendations to guarantee the correct implementation of the strategy, for instance "Project delivery methods and Methods of Procurement" should be collected in order that the municipality select the suitable one. "Recommendations for Technical definition" should be provided ensure the achievement of the Strategy approach, such as the use of BIM methodology to enhance the collaborative work, or define the Stakeholders' responsibilities during the execution and evaluation phases.

All in all, Phase V reflects the concept of strategic planning, which "refers to a systematic decision-making process that prioritizes important issues and focuses on resolving them. It provides a general framework for action by identifying priorities..." [13].

3.3.6 PHASE VI: EXECUTION PLAN

The strategies included in the SSUR are defined in detail and put into practice in this phase, according to a SIP developed in this phase. It includes the recommendations pre-defined from previous Phase V, acting as an overall execution plan that

includes different aspects as Risk management, Supervision and Quality Control plans. Also the BIM approach and BIM Execution Plan are considered during this phase.

All the stakeholders from the different groups, including citizens and end users, participate in this stage. Particularly, is remarkable the role of Contracting Parties that form part of the Consultant experts and that have not previously been involved in the process. They are usually selected by a tender/bidding process and their scope of works, supply, etc. is defined by the tender documents.

The Technical Definition of measures is developed within the BIM framework and related to the selected project delivery method and procurement process, considering that most part of the Municipalities need to face it to accomplish legal requirements. Chronologically, the order of these actions depends on the scope of services that the Municipality would want to cover during the process according to its technical capacity.

With respect to the Project Delivery Method for the contracting formats, it is recommended the application of the IPD to the maximum extent that the public procurement requirements allows. It is 'a collaborative alliance (...) to optimize project results, increase value to the owner, reduce waste, and maximize efficiency through all phases of design, fabrication, and construction' [10]. It emphasizes BIM potential, the early involvement of stakeholders and it has a risk and benefits sharing approach. As recommendation for the Method of Procurement aligned with IPD, it could be followed the sustainable procurement in which the tender documents are performance based and not prescriptive document and the design is not detailed in tender documents [14].

The financial resources have to be clarified in this phase. It is recommended for some measures to follow the Energy Service Company (ESCO) business model, especially in the case of private ownership of buildings.

Within this phase it is defined the Sustainable Evaluation Plan (SEP) to be applied during phase VII for the monitoring and the evaluation of the measures.

3.3.7 PHASE VII: MONITORING AND IMPACT ASSESSMENT EVALUATION

During this phase the strategy and their actions are completed attending to their priority and they are commissioned when finish. For that purpose, a Commissioning Plan should be follow in order to test the correct performance of the ECMs installation and guarantee the operability of the system in terms of performance, reliability, safety, information traceability, etc.

Once the actions are commissioned, the SEP will be deployed, in order to assess the overall performance of the intervention.

At least, procedures for the energy performance and energy savings, economic analysis, social acceptance, and life cycle analysis should be defined. For instance, in order to evaluate the energy performance of the intervention CITYFiED Methodology recommend the use of IPMVP and ASHRAE protocols, which are focused on ECMs.

However, sustainability is not only energy and environment, but other issues play an important role, as Social acceptance, Economic issues, Quality control of the interventions, LCA, which all are included within the proposed plan.

The Technical Committee is the main responsible actor during Phase VII, deploying both the commissioning tasks and the Sustainable Evaluation Plan previously defined. Specifically the monitoring programme implementation is responsibility of the Monitoring committee in case of any, in order to gather the real data consumption from the metering systems.

The final impact that the renovation has on the sustainability is evaluated not only at district but also at city scale. On the one hand, level 3 indicators, which were proposed for impact evaluation target, are calculated again, but this time with real data from monitoring mainly, and the analysis carried out of the overall performance. On the other hand, the impact after renovation at city level is calculated in order to verify the accomplishment of the general and specific objectives defined during Phase I and II, through recalculating Level 1: City indicators and their results compared.

Finally, correction actions are deduced from the short to the long term and from all the strategies for future renovation actions.

4. CONCLUSIONS

The need of innovative methods and the collaboration of municipalities with external consultancy groups to guide them in their application is perfectly face in CITYFiED Methodology. As a holistic procedure for the city renovation at district level, it guides the municipalities under a multi-criteria perspective along the urban renovation process. The integration of supporting tools (3 level of indicators, SEP, Replication model, etc.) supports the decision-making process from the diagnosis, selection as well as final evaluation of measures and retrofitting scenarios, as a useful management and control tool.

The CITYFiED project aims to enable the replicability and mass-market deployment of energy-efficient retrofit of districts. Therefore, taking in advance the successful CITYFiED demonstration cases, in the cities of Lund (Sweden), Laguna de Duero (Spain) and Soma (Turkey), the methodology use them as a reference and a opportunity to validate and refine it through the active participation of the CITYFiED network of cities, assuring its flexibility and adaptability to different

European cities. Then, the future work is to complete its development, accordingly with the ending of the demonstration activities results and extract conclusions.

5. REFERENCES

- [1] H. Park, C. Andrews. City Planning and Energy Use. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Encyclopedia of the Anthropocene (2018), Pages 385–396 Volume 1 doi: 10.1016/B978-0-12-809665-9.09113-8
- [2] UNFCCC, 2015. Adoption of the Paris Agreement, in: United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (Ed.). United Nations, Paris, France, p. 31.
- [3] Reckien D, Salvia M, Heidrich O, Church JM, Pietrapertosa F, De Gregorio-Hurtado S, D'Alonzo V, Foley A, Simoes SG, Lorencová ElišKrkoš, Orru H, Orru K, Wejs A, Flacke J, Olazabal M, Geneletti D, Feliu Efré, Vasilie S, Nador C, Krook-Riekkola A, Matosović M, Fokaides PA, Ioannou BI, Flamos A, Spyridaki N-A, Balzan MV, Fülöp O, Paspaldzhiev I, Grafakos S, Dawson R, How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28, Journal of Cleaner Production (2018), doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.220.
- [4] United Nations. (2014). World Urbanisation Prospects.
- [5] Dijkstra, L., Poelman, H., 2012. Cities in Europe. The new OECD-EC definition.
- [6] Covenant of Mayors. "How to develop a Sustainable Energy Action Plan (SEAP) – Guidebook". Belgium: Publication Office of the European Union, 2010.
- [7] Dalal-Clyton, B., Bass, S., "Sustainable development strategies. Organisation for Economic Co-operation and Development". Earthscan Publications, London, 2002.
- [8] Bertoldi, P., Bornás, D., Monni, S., Piers de Raveschoot, R. "Cómo desarrollar un plan de acción para la energía sostenible (PAES)". JRC, EC, 2010.
- [9] OECD. "Strategies for Sustainable Development. The DAC guidelines". France, 2001, pp. 16.
- [10] AIA. "Integrated Project Delivery: A Guide". Version 1, 2007.
- [11] CITYFiED consortium. "D4.18. Report of commissioning of ECMs and energy generation facilities", March 2018. Interim Version.
- [12] Saaty, T. (1980). The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill.
- [13] Unhabitat. (2004). Urban Patterns for a green economy. Optimizing infrastructure. pp.27.
- [14] Pless, A., Torcellini, P., Scheib, J., Hendron, B., Leach, M. "How-To Guide for Energy-Performance-Based Procurement. An integrated Approach for Whole Building High Performance Specifications in Commercial Buildings". U.S. Department of Energy, Building Technologies Program, 2012

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

BIM interoperability with Revit2015 and BPS with Designbuilder. A case study for an existing building

Interoperabilidad entre BIM con Revit2015 y BPS con Designbuilder. Estudio de caso en una edificación existente

LEÓNIDAS FERNÁNDEZ-ANTÓN

Universidad de Alcalá de Henares.
leonidas.ingedif@gmail.com

JESSICA LÓPEZ-PALOMAR

Universidad de Alcalá de Henares.
jessy.lp89@gmail.com

FERNANDO MARTÍN-CONSUEGRA

Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). martin-consuegra@ietcc.csic.es

CARMEN ALONSO

Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). c.alonso@ietcc.csic.es

IGNACIO OTEIZA

Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). ioteiza@ietcc.csic.es

The research focuses on the interoperability of Building Information Modeling (BIM) and Building Performance Simulation (BPS) using Revit2015 software. for BIM and Design Builder software for BPS Information and data exchange between BIM and BPS is explored. The reasons and criteria for the use of each methodology according to the selected project is addressed, explaining the benefits of using each tool. The analysis is presented for a case study of an existing building in Madrid

Building Information Modeling; Energy simulation; Data exchange; Interoperability; Case study.

La investigación se centra en la interoperabilidad de Building Information Modeling (BIM) y Building Performance Simulation (BPS) usando como software para cada caso Revit2015 para BIM y DesignBuilder para BPS. Se analiza el intercambio de datos entre BIM y BPS. Además se exponen las razones y criterios para la utilización de esta metodología según el proyecto seleccionado, y las prestaciones se tiene con la utilización de cada herramienta. El análisis se presenta a través de caso de estudio con una edificación existente de Madrid.

Modelado de información para la edificación; Simulación energética; Intercambio de datos; Interoperabilidad; Caso de estudio.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es un gran consumidor de energía y productor de enormes cantidades de residuos. El aumento de la velocidad a la que se consume los recursos energéticos es directamente proporcional al aumento de la importancia de la eficiencia energética. España tiene un 28% de incremento de consumo de energía final por habitante (1996 y 2006) frente al 3% europeo de aumento, o el 125% de intensidad energética primaria con respecto a la media de la Unión Europea. En este escenario, los gobiernos naciones y autonómicos han puesto en marcha diferentes planes en concordancia con las directivas europeas de ahorro y eficiencia energética, como las Smart Cities [1].

En el contexto económico actual es complicado llevar muchas de ellas a cabo, ya que en ocasiones las entidades indicadas

para desarrollar su implantación carecen de recursos inversores para acometerlas y, dado el alto coste de muchas de ellas, no todas las iniciativas privadas disponen de los capitales inversores para realizarlos. Además, la falta y difícil tarea de organización y coordinación entre los profesionales en los tiempos, procedimientos y objetivos, hace más complicado llegar al nivel de calidad que se requiere en estos proyectos.

Pero para que los objetivos marcados por las distintas directivas europeas puedan llegar a cumplirse, ciudades y los edificios públicos deben implementar soluciones de eficiencia.

Como respuesta a estos hechos surge la necesidad de un modelo nuevo de edificación menos agresiva con el planeta y más saludable para sus ocupantes, un modelo sostenible. No obstante, la definición de qué parámetros definen un edificio sostenible resulta complicada, pero aún más definir las

herramientas que permitan medir la sostenibilidad. En España muchos menos proyectos de rehabilitación que de nueva construcción. Aun así, en principio es más favorable ambientalmente rehabilitar un edificio existente que demolerlo y construirlo de nuevo. [2].

Rehabilitar un edificio parece la oportunidad para hacerlo más eficiente y sostenible ahorrando energía y reduciendo las emisiones de CO2. Para conseguirlo se necesita una reducción de la demanda de energía evitando pérdidas energéticas e implementando medidas de ahorro energético, la utilización de fuentes energéticas sostenibles y el uso de fuentes de combustible fósil de forma más eficiente. Así se comenzará a mejorar el edificio energéticamente, consiguiendo reducir el consumo energético del mismo.

1.1 SIMULACIÓN ENERGÉTICA

En la actualidad, para poder llegar a una eficiencia energética en el parque edificatorio en España y para seguir creciendo de manera sostenible, existe la necesidad de crear modelos energéticos de simulación digitales para analizar el comportamiento energético de las edificaciones. Estos modelos lograrán tanto plantear un buen balance entre la eficiencia energética y la facilidad económica, como cumplimentar las distintas normas y certificaciones que rigen el proyecto.

En la actualidad existe un nivel alto de metodologías de simulación del comportamiento del edificio (BPS, Building Performance Simulation) debido a la exactitud de sus cálculos, las mejoras de la interfaz, el uso de amplias bases de datos de materiales, de clima, etc.

Por otro lado, está el diseño y modelado en BIM (Building Information Modeling) de objetos tales como muros, losas, puertas, ventanas, estructuras, equipos, HVAC, etc. de los cuales se hace coordinación interdisciplinaria, tablas de cantidades, planos en 2d, etc.

En este trabajo se comenta la capacidad de asignarles información extra a esos objetos, precisión geométrica, posibilidad de crear áreas y zonas en el proyecto, etc. Se busca poder analizar los resultados en el mismo programa de modelado BIM, como en otro software de simulación energética, ahorrando así el tiempo en el modelado del edificio.

1.2 TRABAJAR CON BIM Y BPS

Durante la última década, la metodología BIM ha sido implantada de forma progresiva en distintos países. Esta metodología está basada en la norma ISO 16739-2013 Industry Foundation Classes (IFC for data sharing in the construction and facility management industries), donde se desarrolla un esquema conceptual de datos y un formato de archivo de intercambio de datos BIM.

El objetivo es optimizar recursos, reducir riesgos y obtener mejores resultados para todos los implicados en el proyecto. Las aplicaciones basadas en la eficiencia energética usan los parámetros de los que obtienen la información del edificio en el modelo volumétrico, incluyendo información paramétrica de tipo construcción, uso, ubicación, etc. [3]

Las aplicaciones proporcionan gráficos e informes, de forma que el usuario pueda ver las deficiencias de su proyecto y le permiten modificar los supuestos del caso base y luego ejecutar un análisis de energía para que pueda calcular el impacto de estas modificaciones en materia de eficiencia energética, ayudando a tomar decisiones importantes de diseño más rápidamente.

La mayor parte de los modelos que se realizan en BIM son para fines no asociados con la eficiencia energética, dado que BIM es todavía una herramienta ligada a ayudar en la coordinación, visualización y planimetría de la construcción de edificaciones, y todavía se está asentando el ligar todos estos aspectos a la sostenibilidad.

El concepto de sostenibilidad se encuentra en la elección de materiales en base a su ciclo de vida, la gestión de procesos, el diseño integrado de edificios, el control del sitio, etc. En algunos de estos ámbitos BIM ya es una herramienta útil. En los aspectos ligados a la eficiencia energética BIM todavía presenta posibilidades de mejora.

El aspecto de la herramienta BIM clave para el intercambio de datos a otros programas es la existencia de comandos de "zonas" o "areas".

Una vez descrita la edificación (muros, techos, suelos de un recinto) hay que insertar un volumen virtual contenido en estos muros. Esto tiene un alto potencial de transformarse en zonas útiles para el cálculo en el software BPS, ahorrando la tarea de modelar de nuevo la edificación del estudio.

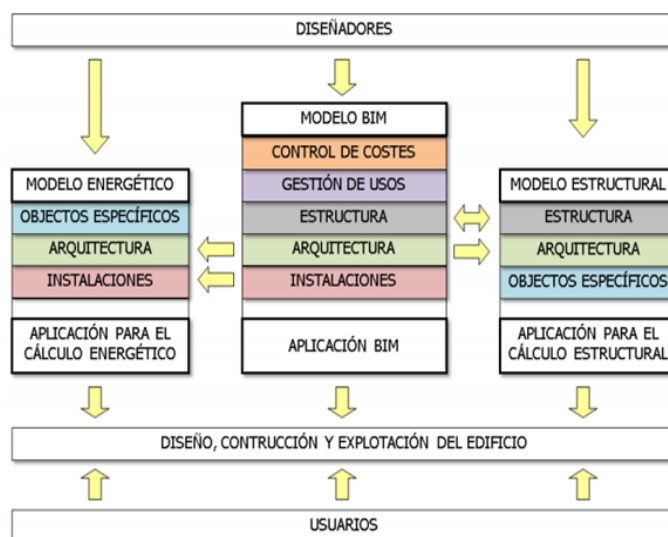


Figura 1: Gráfica Relación de BIM con otras conectables. Fuente: Introducción a la Tecnología BIM, 2013

La figura 1 explica cómo se relaciona una aplicación BIM muy completa y su modelo con aplicaciones conectables. Los objetos que es capaz de manejar la aplicación contienen diversa clase de información, parte de ella es de especial interés para el arquitecto, pero otra lo puede ser para otras profesionales. [4]

DXF	gbXML	ifcXML
Drawing Exchange Format	Green Building extensible markup language	Industry Foundation Classes
-Geometría en 2D y 3D -Capas de materiales	-Tipo de construcción -Orientación y Ubicación -Geometría -Área -Volumen -Ventanas y puertas -Cargas eléctricas, iluminación y ocupación -Tipo de espacios -Condiciones de contorno -HVAC -Aire interior -Materiales	- Toda la geometría en 3D -Localización de objetos y relaciones entre sí. -Parámetros de cada objeto -Análisis estructural, mecánico y de energía -Espacios IFC

Tabla 1: Formatos de archivos de intercambio BIM-BPS. Fuente: Elaboración propia, 2015

Para intercambiar los modelos de BIM a un software BPS se debe usar un formato Drawing Exchange Format (DXF), Green Building XML schema (gbXML) y con extensión ifcXML, y RVT un formato especial de Autodesk Revit. Se muestra el tipo de datos para cada formato en la tabla 1 y los formatos de intercambio con Archicad y Revit en la tabla 2. [5]

BIM	DXF	gbXML	IFCxml
Archicad	DXF		IFC 2x3XML
Revit	DXF	gbXML	

Tabla 2. Formatos de archivos de intercambio en ArchiCad y Revit. Fuente: Elaboración propia, 2015

Por tanto, a grandes rasgos se puede establecer dos tipos de formatos de archivos: los archivos que se basan en una Geometría completa para calcular iluminación, luz, sombras, viento/ventilación, ganancia solar; y aquellos basados en “espacios” que exportan información sobre zonas para cálculos térmicos, transmisión de radiación solar, demanda de energía, índices sustentables, etc [6]. En la figura 2 se muestra el flujo de interoperabilidad propuesto por Autodesk.

Por tanto, la aplicación matriz de BIM gestiona todos los procesos de análisis integrado y los diagnósticos obtenidos representando los datos resultantes en los diferentes formatos gráficos y alfanuméricos necesarios para redactar informes y entender el problema en su conjunto.

Dependiendo del grado de apoyo multidisciplinar de la aplicación BIM en concreto, los distintos perfiles profesionales podrán trabajar en mayor o menor grado directamente sobre el mismo modelo BIM, consiguiendo más eficacia. Aquellos

aspectos más específicos se desarrollarán en aplicaciones concretas que podrán aprovechar la parte de la información del modelo BIM que los interese. Si la comunicación entre las aplicaciones es bidireccional, podrá devolver la información al modelo BIM para que pueda ser usada por otras disciplinas [7].

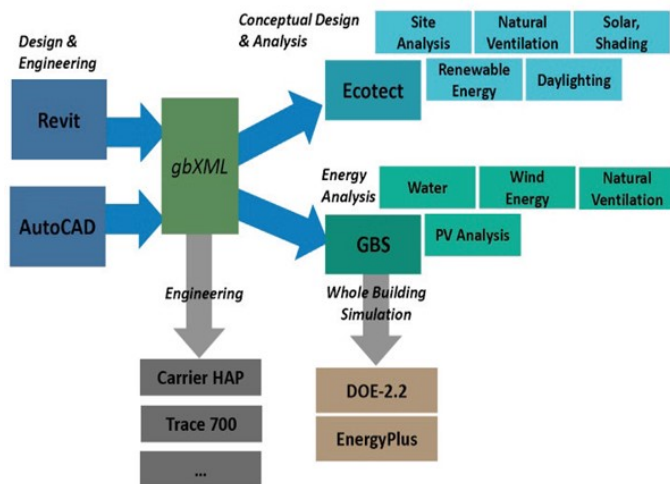


Fig. 2: Flujo de interoperabilidad propuesto por Autodesk basado en formato gbXML Fuente: material académico de Autodesk

2. USO DE BIM EN EDIFICIOS EXISTENTES

La metodología BIM se usa principalmente en edificio de nueva construcción, comenzando el proceso con un levantamiento directamente en tres dimensiones (3D) del diseño inicial y de ahí se deriva a un continuo proceso: estructura, características de los materiales, instalaciones. Así la información se queda retenida y se desarrolla con un único modelo. Esto no se ha utilizado tanto en rehabilitación, ya que la tecnología BIM es algo nuevo, y los datos de trabajo con lo que se ha proyectado y construido hasta ahora no eran BIM, por lo que se parte de un “No modelo BIM”, de un modelo tradicional [8].

Se requiere por tanto mucho más trabajo a la hora de recopilar datos de edificios existentes, ya que hay demasiada información dispersa en gerentes y administraciones. Es una línea de investigación que debe de intensificarse, ya que se tiene que tener especial atención al mantenimiento y las etapas de deconstrucción o rehabilitación de los edificios existentes, porque al igual que se genera consumo de energía, CO2, y demás residuos de la etapa de construcción, no es menos en estas últimas etapas del ciclo de vida del edificio.

Un posible enfoque en el que se podría trabajar a la hora de hacer más factible la incorporación de BIM a las edificaciones existentes son estos puntos.

- ◆ Automatización de capturas de datos y la creación de un BIM de manera digital (sin preexistente)

- ♦ Actualización y mantenimiento de la información BIM de ese edificio por parte de la Administración.
- ♦ Manipulación y modelado de datos inciertos, objetos y relaciones y usos que ocurren en los edificios existentes en BIM.

2.1 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS PARÁMETROS DE UN EDIFICIO EXISTENTE

A pesar de que el modelo BIM contiene mucha información de los materiales, la estructura, instalaciones, uso... en ocasiones los datos difieren con los datos de monitorización reales de ese mismo edificio, sobre todo en edificios existentes. Esto se deriva de las simplificaciones y supuestos del modelo que se simula para poder manejar los datos de entrada en las herramientas de análisis energético y simulación energética cuando se está en fase de proyecto, o por la falta de datos o supuestos que no se conocen por reformas, cambios, etc.

En las herramientas de simulación actuales, el cálculo en cerramientos se simplifica, suponiendo que cada elemento de construcción tiene una propiedad térmica constante en toda la superficie. Es probable que los valores de un material de un edificio sean inferiores a los valores declarados en las especificaciones de los materiales o bases de datos estándares (ASHRAE, CTE...) [9].

Si se mide de forma fiable y se asocia con elementos BIM, los modelos de energía a base de BIM y herramientas de simulación, producirán resultados de rendimientos más fiables. Por eso es importante el mejorar la información de los edificios existente a Base BIM.

La medición de las propiedades térmicas reales de los elementos de construcción es uno de los puntos que más tener en cuenta para introducir los datos de un análisis energético. Exactitud en la modelización de las propiedades térmicas, como la resistencia (R) o transmitancia térmica (U) para elementos de construcción, es uno de los factores más influyentes en el cálculo de las cargas térmicas de los materiales genéricos. La mayoría de las veces se obtienen a través de los datos de los materiales genéricos. Aunque existe métodos para saber con mayor exactitud que capa contienen el cerramiento y acercarse más a una R y U más exactas.

Hay dos métodos de medición que se pueden utilizar para cuantificar las propiedades reales. El Método Destructivo que hace que se desmonte la parte de la estructura del cerramiento para saber las capas, lo que lleva a que sea casi imposible y muy difícil, por costo, o por ocupación de inquilinos. El método no destructivo se realiza con aparatos como las cámaras termográficas, pero tienen limitaciones que pueden afectar negativamente a su aplicación a gran escala para la construcción de diagnósticos ya que se necesita un gran número de imágenes térmicas, lo que es un proceso lento y propenso a errores; y debido a la diferentes velocidades

de degradación, los elementos presentan a menudo deterioros no uniformes a sus geometrías.

Por ello, hay necesidad de un método automatizado para hacer coincidir cada medición a los elementos pertinente de BIM y la actualización de las propiedades térmicas reales en las entradas de gbXML correspondientes [10].

3. PROGRAMAS PARA EL PROCESO DE INTEROPERABILIDAD

En este trabajo no se quiere proponer una herramienta única para la metodología BIM de trabajo, ni elegir un programa de análisis energético único. En este trabajo se va realizar un mapeo de interoperabilidad complejo y lo más completo posible entre un programa BIM, Revit de Autodesk, un programa que se usa habitualmente y se tiene un conocimiento avanzado con respecto a su interfaz gráfica y paramétrica; y de la herramienta de análisis energético y simulación energética Design Builder, de la cual se considera completa para señalar aspectos de un análisis energético y que se conoce ampliamente la extensión de capacidad que tiene. De este trabajo se puede derivar líneas paralelas que realicen la misma metodología de investigación, con programas BIM y programas BPS para alcanzar un análisis energético de la eficiencia energética de la edificación fiable, trabajable y de facilidad de uso para los consultores y técnicos.

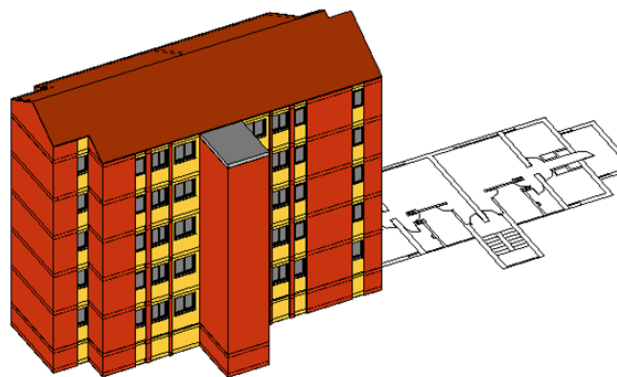


Figura 3: Geometría 3D edificio residencial modelado en Revit. Elaboración propia 2015

3.1. PROGRAMAS BIM

Bentley es una herramienta se nutre del módulo Triforma de diseño paramétrico. Es una aplicación similar a Revit (figura 3) pero tiene un manejo en general mucho menos intuitivo por su interfaz gráfica y paramétrica.

ArchiCAD y Allplan, se comunican eficazmente con varias aplicaciones (Cinema 4D, Presto, Arquímedes, Gesto, CYPE, Tricalc, LIDER, CALENER, Maxoform). Pero en ocasiones se ve asistido por algunas aplicaciones de terceros que ayudan a la creación de objetos paramétricos.

3.2. MOTORES DE SIMULACIÓN Y GUI (INTERFACE GRÁFICA DE USUARIO)

El motor de simulación es el software encargado de desarrollar los cálculos necesarios para establecer los resultados de simulación, es necesario una interfaz gráfica en muchos casos para así tener mayor facilidad de manejo y comprensión de los datos introducidos y sacados. La interfaz y el motor de simulación se desarrollan en muchos casos en distintas compañías. (Tabla 3).

MOTORES DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA	GUI	Plugings o interfaz necesarias
Energy Plus	- Design Builder - Simergy - Open Studio - HEVACOMP	Sketch Up (geometría) plugin Runmanager
DOE-2	- Equest - CYPE Building Service - CALENER GT - les ve	Result Viewer
S3PAS	- LIDER - CALENER VYP	
ECOTECT	- ECOTECT	

Tabla 3. Motores y GUI relacionados. Fuente: Elaboración Propia, 2015

Las prestaciones que dan los motores de simulación energética pueden variar entre ellas, por esto hay que tener en cuenta los datos de partida que se introducen en cada programa, los datos que difieren, los datos que se pasan correctamente sin errores, y los que si dan error, los que se cambian, y los que se ponen por defecto de cada uno, además de tener en cuenta el cálculo que difiere entre ellos a la hora de realizar el análisis energético.

Entre las prestaciones que se pueden analizar con ellos está las cargas térmicas, simulación de instalaciones, cargas de instalaciones, intercambio radiante, confort térmico, ventilación por desplazamiento, distribución de aire, sistemas radiantes, ventilación natural, transporte de humedad, uso de agua, energía renovable, cogeneración, luz natural y control, acristalamiento y control de sombreamiento, controles de adaptación a la demanda, iluminación exterior y control, etc.

4. CASO DE ESTUDIO PARA LA INTEROPERABILIDAD DE LOS PROGRAMAS REVIT® Y DESIGN BUILDER®

Para el ejercicio práctico que lleve a cabo la idea y objetivo del trabajo, de conocer y probar la interoperabilidad entre programas BIM y de análisis energético, se propone actuar de manera metodológica según pasos establecidos en un edificio existente.

4.1. EL EDIFICIO OBJETO

El edificio escogido por el grupo de trabajo, es un edificio conocido y en el que se han realizado evaluaciones anteriores por nuestra parte y por parte del IETcc.

En el edificio se ha realizado una auditoría energética para un proyecto de fin de carrera, se ha realizado las

certificaciones energéticas individuales de varios pisos, además de la del bloque global, se ha monitorizado su higrometría y temperatura con termohigrómetros, se ha monitorizado y hallado por método práctico según UNE la transmitancia térmica de sus cerramientos, además de haber realizado varias encuestas para conocer el uso, ocupación y operatividad de las viviendas a sus usuarios.

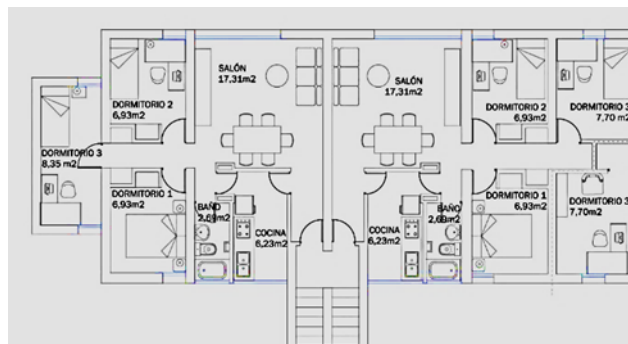


Figura. 4 Distribución de un bloque del edificio objeto. Fuente: Elaboración propia, 2014

Se trata de un edificio situado en Manoteras, un barrio de Madrid, construido en 1960, de uso residencial. (Figura 4).

El bloque posee cinco plantas de igual distribución, dos viviendas simétricas por planta y un núcleo de escaleras donde se localiza la entrada a las viviendas. Cada vivienda tiene unos 70m² de superficie construida.

4.2. PASOS DE LA METODOLOGÍA ESTABLECIDA PARA ESTE PROYECTO

La dinámica con la que se ha desarrollado el proyecto se basa en unos pasos desarrollados de forma ordenada y atendiendo a las solicitudes de cada programa:

1. Introducir en Revit® el edificio objeto, modelizando su geometría y añadiendo sus características de entorno, ubicación, etc.
2. Añadir sus características térmicas a los elementos constructivos que componen el edificio.
3. Realizar el modelo analítico.
4. Exportar un archivo gbXML
5. Añadir parámetros y corregir errores al importarlo a Design Builder®.
6. Correr las simulaciones en cada programa y sacar los informes en cada caso.
7. Analizar y evaluar los resultados de los informes

4.3. PASO I: INTRODUCCIÓN DEL EDIFICIO OBJETO EN REVIT®

Para el levantamiento de un edificio en Revit se debe tener toda la información posible para que el modelo sea lo más completo posible ya que tiene mucha capacidad de almacenaje paramétrico: ubicación, volumetría, orientación, elementos constructivos, etc.

Antes de la modelización del edificio se introducen datos generales del nombre del proyecto. Además de tener en cuenta la volumetría del edificio, hay que orientarlo correctamente según sea su ángulo con respecto al Norte, y analizar las realizar los objetos que puedan arrojar sombra interviniendo en el comportamiento energético del edificio. (Figura 5).



FIGURA. 5 LEVANTAMIENTO EDIFICIO OBJETO DE PRÁCTICA. SE INTRODUCEN: DATOS GENERALES, VOLUMETRÍA, ORIENTACIÓN, Y SOMBRAS QUE SE ARROJAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2015

Una vez realizado el modelo se deben de concretar las familias y tipos de los elementos constructivos si no se han hecho previamente. Los muros se definen por capas de sus materiales y estos los puedes seleccionar en la biblioteca de Revit Autodesk, o elaborar los tuyos propios si tienes la información necesaria. Los muros también tienen unas propiedades globales a tener en cuenta, como es su uso, su función, sus uniones, sus enlaces con otros elementos, etc.

4.4. PASO II: CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS QUE COMPONEN EL EDIFICIO EN REVIT

Cada material que se ha insertado como capa en los elementos constructivos en el paso anterior, se le puede añadir las propiedades térmicas en la ventana de Explorador de Materiales (figura 6). Estos parámetros son a nivel Material, es decir, por capa según Elemento (ej.: ladrillo). Las propiedades son:

- Conductividad Térmica
- Permeabilidad
- Densidad
- Porosidad
- Calor Específico
- Reflexividad
- Comportamiento
- Resistencia Eléctrica
- Emisividad

Los tres primeros parámetros de la lista indicada se han

modificado según CTE, cogiendo de base un material de la Librería de Revit similar al del proyecto.

El resto de los parámetros se ha dejado según defecto de la Librería de Revit ya que son aspecto que no influyen de sobremanera en el estudio de este trabajo.

A nivel Elemento (ej.: muro), existen otras propiedades analíticas que dependen directamente de las capas que constituyen el elemento. Estas son:

- ◆ Coeficiente de transferencia de calor (U) [$W/m^2 \cdot K$]
- ◆ Resistencia Térmica (R) [$m^2 \cdot K/W$]
- ◆ Masa Térmica [kJ/K]

La Absortancia y Aspereza se modifican según las características de la capa exterior, se pueden modificar con independencia de las capas que conforman el elemento.

En el caso de los elementos que definen las Ventanas, las propiedades Analíticas no dependen de los niveles de definición expuestos en la figura 6, si no que la composición del vidrio y el marco no determinan sus propiedades térmicas. En vez de esto, el programa da la opción de seleccionar un tipo de ventana con las características preestablecidas.

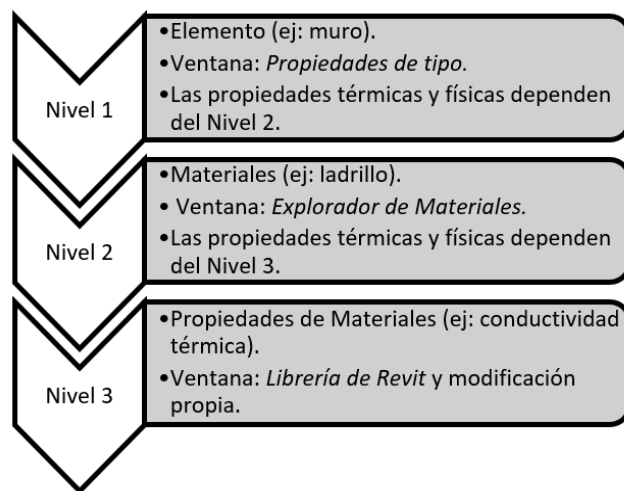


Figura. 6. Esquema de niveles de definición de parámetros. Fuente: Elaboración propia, 2015

En Construcción Analítica se selecciona los parámetros

- ◆ Transmitancia de luz visual
- ◆ Coeficiente de incremento de calor solar
- ◆ Coeficiente de transferencia e Calor (U)
- ◆ Resistencia Térmica (R)

No se ha conseguido saber con exactitud la definición de dicha ventana por defecto en ninguna de las guías que Autodesk Revit da para comprender el programa.

Por lo tanto, en este punto se han definido los parámetros opacos (muros, suelos, cubierta, techos) por material, modificando sus parámetros térmicos, afectando a las capas

de la composición de cada elemento; y la definición de las ventanas se ha realizado seleccionando el elemento de Construcción Analítica que defina las características térmicas de la ventana lo más parecido a las del proyecto.

4.5. PASO III. REALIZACIÓN DEL MODELO ANALÍTICO EN REVIT

Para comenzar con el modelo analítico se necesita crear espacios y zonas. Los espacios sirven para almacenar los valores que se usan en el análisis de carga de calefacción y refrigeración del modelo de construcción. Las zonas son el conjunto de espacios en los que se definen sistemas de control ambiental como sistemas de calefacción, refrigeración y control de humedad.

Se debe puntualizar que hay un concepto similar a los espacios en Revit, que son las habitaciones. Los espacios se usan en Revit MEP y las habitaciones en arquitectura, pero ambos son áreas que guardan información específica para su área. Son múltiples los parámetros que almacena un espacio desde su carga de calefacción calculada, hasta la de diseño, el incremento de calor latente de una persona, las cargas por ocupación, etc.

4.5.1 ESPACIOS

Un espacio se define volumétricamente con unas restricciones como son

- ♦ el Nivel
- ♦ el límite superior y desfases
- ♦ y las paredes de la habitación que se selecciona.

No todos los parámetros que puede almacenar un espacio (y en una zona) se han usado o modificado. Para este trabajo, la parte fundamental de calefacción es suficiente y de gran utilizar para analizar la interoperabilidad del trabajo.

El apartado que influye en esta investigación es el de Análisis Energético dentro de la definición de espacios. En este apartado se indican los aspectos mostrados en la Figura 7.

4.5.2 ZONAS

En la zona, los espacios que la componen se controlan mediante un equipo común que mantiene un entorno común (temperatura, humedad, etc.) al igual que requisitos comunes.

Las zonas también reúnen información de los espacios que la componen y se usan para el análisis de carga de calefacción y refrigeración para determinar las demandas de energía con Revit MEP (extensión del mismo software Revit®).

Al igual que en el apartado de Espacios también el punto de interés es el de Análisis energético, dónde se tienen en cuenta los parámetros que se listan en la Figura 8.

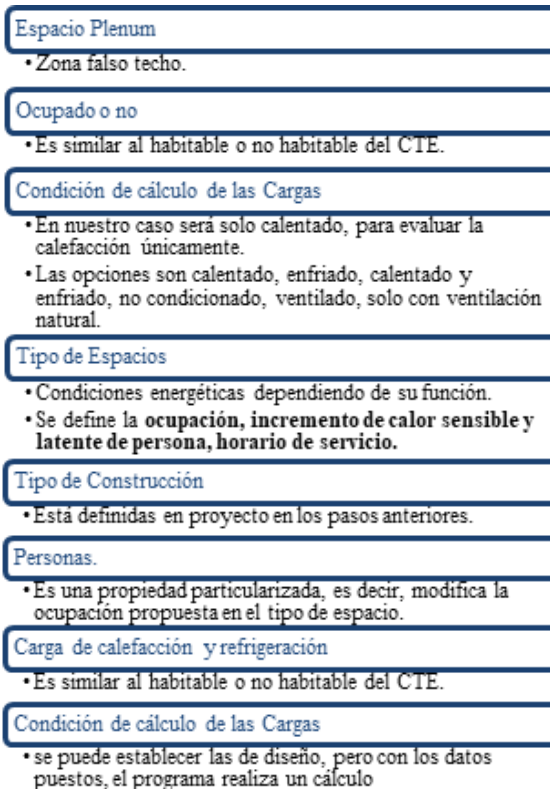


Figura 7. Definición de espacios. Análisis energético.

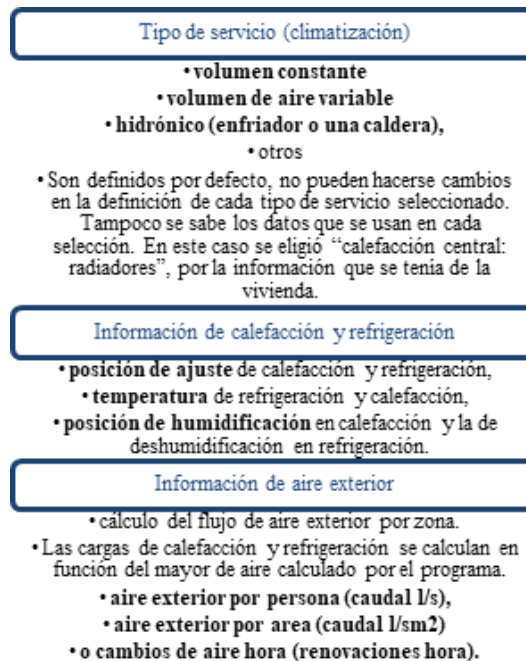


Figura 8. Definición de zonas. Análisis energético.

4.6. PASO IV: EXPORTACIÓN DEL ARCHIVO BIM DE REVIT A UN ARCHIVO GBXML

Una vez configurado el modelo analítico y definida su volumetría, ubicación, objetos exteriores que le afectan, características térmicas de sus elementos se puede realizar la exportación del archivo gbXML para otros programas.

<p>Tipo de espacio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plurifamiliar, tiene por defecto una serie de parámetros • Área por persona, • incremento de calor sensible y latente por persona, • densidad de carga e iluminación y potencia, • contribución de iluminación de plenum, • tabla de planificación de ocupación, iluminación y potencia, • hora de apertura y de cierre, • posición de ajuste de refrigeración no ocupada
<p>Ubicación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuando se introducen la información general del proyecto se determina la ubicación. • Esta ubicación viene definida por la estación meteorológica correspondiente mediante la opción <i>Servicio de información geográfica via internet.</i> • Determina la cantidad de carbono con relación a la electricidad suministrada.
<p>Plano de suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es el nivel de referencia para el objeto. • Categoría de exportación: elegir exportación por espacios o habitaciones.
<p>Complejidad de exportación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • se basa en el detalle suministrado para huecos y si se exporta o no la información de superficie de sombreado. • Envolvente de edificio: Identificar elementos exterior, quiere decir que se usará la proyección de rayos y ver los elementos expuestos.
<p>Instalación del edificio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • instalación por defecto para todas las zonas. Se puede modificar yendo a la opción de la zona.
<p>Construcción del edificio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Importante mantener la definición hecha a lo largo del proceso de elaboración del proyecto y que no se usen datos por defecto como los del análisis de masa.
<p>Clase de infiltración.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Este parámetro no se exporta el gbXML.
<p>Exportar valores por defecto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si no se selecciona solo se exportan los valores definidos por el usuario.
<p>Modelo analítico</p> <ul style="list-style-type: none"> • los datos se han definido en espacios y zonas. Se puede acceder a este cuadro antes o después de sacar el archivo gbXML.
<p>Las instalaciones del edificio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La tabla de planificación de operaciones, que define las horas de uso, sistema de climatización, que se elige de una lista que ofrece Revit con sistemas definidos por defecto sin poder modificar (<i>ANEXOS. Interoperabilidad entre BIM con Revit y BEM con Design Builder y Green Building Studio</i>) y la información del aire exterior que se ha definido con anterioridad en espacio y zonas.

Figura 9. Parámetros del cuadro de diálogo "configuración de energía" de Revit.

Para llevarlo a cabo Revit examina el volumen de los espacios a analizar del modelo analítico, sus características y errores en el cuadro diálogo Configuración de Energía. Los parámetros que se pueden revisar y modificar en el cuadro diálogo Configuración de energía son los parámetros que se han ido introduciendo a lo largo de la elaboración del modelo energético, tal y como se muestra en la Figura 9.

A continuación se crea el gbXML. Para el caso de este trabajo, este archivo se va a manejar en dos herramientas de análisis de eficiencia energética Design Builder y Green Building Studio.

Green Building Studio está ligado a Autodesk, por lo que a través del programa se puede enviar el archivo directamente a la herramienta, que se cuelga en la web y es ahí donde se puede ver los resultados y modificar. En el caso de Design Builder, el programa, una vez instalado en el PC, se instala en el Revit un complemento donde se puede exportar directamente el gbXML a Design Builder. Los pasos son los mismos desde dentro del Revit que desde dentro de Design Builder.

Antes de acceder a Green Building Studio Web, se debe hacer el análisis energético en Revit del Análisis de Energía que da el programa. Es desde ahí, el cuadro diálogo de los resultados donde se puede acceder directamente con un clic a Green Building Studio.

A continuación, se analizan los inputs que se quedan igualmente definidos y los outputs que se crean y se asemejan en cada uno de los análisis de cada herramienta, Revit, Green Building Studio Autodesk y Design Building.

4.7. PASO V: IMPORTACIÓN DEL ARCHIVOS GBXML A LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN

En el caso del Design Builder, se realiza la importación de las dos maneras señaladas con anterioridad, o a través del plugging o en el mismo Design Builder. (Figura 10)

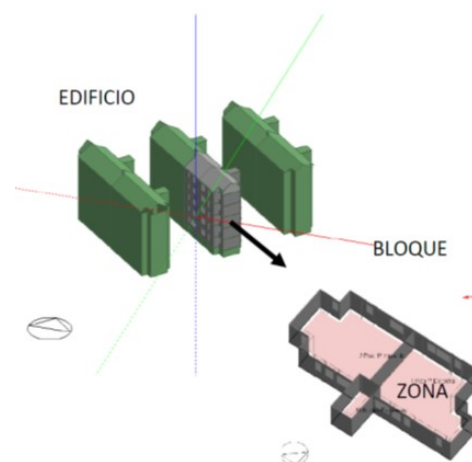


Figura 10. Diferentes elementos geométricos definidos en Design Builder con el modelo importado en la herramienta

La información geométrica contenida en gbXML importa las superficies y volúmenes exteriores e interiores de los espacios, creando paredes, techos, suelos, etc., elementos correspondientes del BIM y también contienen las aberturas de ventanas y puertas.

Las propiedades térmicas importadas se asignan a nivel de superficie en el modelo creado en Design Builder, es decir, no se crean como paredes, suelo, etc. de la plantilla que se usa en el edificio, ni en el bloque, ni en la zona, se crean como partes individuales dentro de cada elemento (último nivel de definición). Cada elementos constructivo (suelo, paredes, techo, particiones, ventanas) está compuesto por las mismas capas definidas en Revit, varía en muy poco el Coeficiente U final del elemento. (Tabla 4).

PARÁMETROS	REVIT	DESIGN BUILDER	
Paramentos opacos			Unidades
Grosor	Igual	Igual	m
Resistencia (R)	Menor	Mayor	m ² K/W
Coeficiente de transferencia de calor (U)	Igual	Igual*	W/m ² K
Masa térmica	Menor	Mayor**	Distintas
Absortancia ⁽¹⁾	Distinta forma	Distinta forma	-
Aspereza ⁽¹⁾	Distinta forma	Distinta forma	-
Conductividad térmica (por capa)	Igual	Igual	W/m·K
Calor específico (por capa)	Igual	Igual	J/(Kg. °C)
Densidad (por capa)	Igual	Igual	Kg/m ³
Emisividad (por capa)	Igual	Igual	-
Permeabilidad		No existe	ng/(PA·s·m ²)
Porosidad ⁽²⁾	Distinto	Distinto	-
Reflexividad		No existe	-
Resistencia Eléctrica		No existe	Ohmios·m

*Design Builder da dos U diferentes, una de ellas, la U de superficie a superficie, es mayor a la otra, la U total del cerramiento, esto explica que la R no sea igual a la que da Revit. Aun así, U de superficie a superficie es la misma en Revit

**Las unidades son distintas KJ/K Revit/ KJ/m² K en Desing Builder

(1) En Revit es por elemento y en Desing Builder se define por capa.

(2) En Revit es un valor de 0,10 y en Desing Builder es un factor de 1.50

Tabla 4 Comparativa de Input de los parámetros de los cerramientos opacos entre Revit y Design Builder. Fuente: Elaboración propia, 2015

En cuanto a las ventanas se habían definido por una selección según su U, sin saber detenidamente los parámetros que conlleva esa elección. En la importación a Design Builder, el parámetro U es el mismo que en Revit y se pueden visualizar los demás que no se mostraban en Revit.

La localización, los datos de definición de escenario de los espacios y zonas, y los sistemas de instalaciones de HVAC no se exportan al Design Builder, por lo que estos elementos son los que se deben de modificar dentro del programa (o en el plugging de Design Builder dentro de Revit). (Tabla5).

REVIT		DESIGN BUILDER	
Orientación	0 (según modelo 3D orientado al noreste)	Orientación	0 (según modelo 3D orientado al noreste)
Ubicación	Servicio de información geográfica vía Internet-	Sitio	Plantilla MADRID/ Barajas RS, España,
Estación Meteorológica	Estación meteorológica 133706_2006 (3,0 km)	Weather Meteoroly	WMO 82210
Zona Climática	3C	Zona climática ASHRAE	3C
Latitud Longitud	40,4764,-3,66	Latitud Longitud	40,45; -3,667
Weather Station	GBS_06M12_02_051056.csv	Datos Climáticos horarios	ESP_Madrid_iwec.epw

Tabla 5 Ubicación y localización. Comparación de datos de Revit y Design Builder. Fuente: Elaboración propia, 2015.

Los datos climáticos son prácticamente iguales, ya que son WMO Organización Meteorológica Mundial y climas ASRHAE, la misma base usada en Revit.

En cuanto al Modelo Analítico (parámetros de espacios y zonas), tanto la inserción de datos, como los datos en sí son diferentes de un programa a otro.

Como se observa en la tabla 6, existen varios problemas para poder comparar los resultados posteriormente. Como el hecho de que los parámetros a introducir para las instalaciones de HVAC, que en este caso son sólo para calefacción, no sean iguales, ya que en Revit no se precisan demasiadas características.

También en cuanto a la U de los cerramientos, no se sabe con exactitud cuál de las dos se usa en ellos aunque se determina que al no existir mucha diferencia el resultado por este aspecto no difiere demasiado. También el tener dos motores de simulación distintos puede que los cálculos en el análisis sean diferentes y se tendría que determinar qué aspectos consideran, obvian o añaden cada uno.

	Parámetros en Revit	Parámetro en Design Builder
Motor de cálculo	DOE-2 versión 2015,3,37,232 (DOE-2,2-48r)	Energy Plus versión 8.3.0.001
Espacios		
Zona habitable	Ocupado: Ocupado o no ocupado.	Tipo zona: Standard u otras opciones.
Calcular las condiciones según tipo de climatización	Calentado	No se especifica
Ocupación	M ² /persona	Persona/m ²
Programación	La misma CTE	La misma CTE
Incremento de calor sensible/persona	En W	Tasa metabólica por persona en W/persona
Incremento de calor latente pro persona	En W	No se especifica
Factor de metabolismo	No se especifica	Factor según hombre, mujer o niño.
Tasa de generación de CO ₂	No se especifica	En m ³ /s·W
Tipo de construcción	Por elemento	Según gbXML
Zona		
Tipo de instalación	Calefacción central radiadores*	Caldera convencional **
Posición de ajuste de calefacción	°C	Consigna de temperatura (°C)
Posición de ajuste de refrigeración	°C	Consigna de temperatura (°C)
Temperatura de aire de calefacción	°C	Temperatura max aire de calefc. (°C)
Temperatura de aire de refrigeración	°C	Temperatura max aire de refrig (°C).
Posición de ajuste de humidificación	%	%
Posición de ajuste de deshumidificación	%	%
Aire Exterior por persona	l/s persona	l/s persona
Cambios de aire hora	ren/h	ren/h
Potencia de iluminación media	W/m ²	Densidad de iluminación W/m ²
Combustible	Gas Natural	Combustible HVAC Simple:Gas Natural
Instalación		
Clase de infiltración de edificio	Cfm/sqft	Alta/media/baja
Tabla planificación de operaciones de construcción actividad	24-jul	Es la misma del apartado Programación: CTE
Sistema climatización	Sistema de gas ***	Gas Fired****
Eficiencia Energética	0,9	0,9
Temperatura de salida del agua	No se especifica	°C

Tabla 6. Tabla Comparativa de los Input del modelo analítico entre Revit y Design Builder. Fuente: Elaboración Propia, 2015.

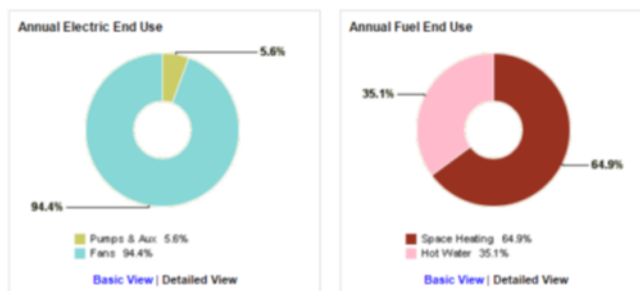


Figura 11. Uso de la energía anual en electricidad y combustible en Green Building Studio con el caso de estudio.

4.8. PASO VI: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO OBJETO.

4.8.1 RESULTADOS EN REVIT ®

Al realizar el Análisis de Energía del edificio objeto en Revit [11], el programa proporciona un informe con los siguientes parámetros de resultados:

Intensidad de uso de Energía (EUI):

- ◆ Costo/uso de energía de ciclo de vida
- ◆ Potencia de energía renovable
- ◆ Emisiones de carbono anuales
- ◆ Uso/Costo de energía anual
- ◆ Uso de energía: Combustible
- ◆ Uso de energía: Electricidad
- ◆ Carga de calefacción mensual
- ◆ Carga de refrigeración mensual
- ◆ Consumo de combustible mensual
- ◆ Consumo de electricidad mensual
- ◆ Demanda máxima mensual

4.8.2 RESULTADOS GREEN BUILDING STUDIO (GBS)

Los resultados mencionados en este apartado y mostrados en la figura 11, se han obtenido con un servicio de análisis de energía basado en la nube con la tecnología de Green Building Studio (figura 8). Además Revit tiene la posibilidad de complementar su análisis energético del edificio bajo la plataforma Green Building Studio [12].

Autodesk Green Building Studio es un análisis energético-web que ayuda a los ingenieros, arquitectos y delineantes a conformar todo el edificio, optimizar la eficiencia energética, y trabajar hacia la emisión CERO de contaminantes en la fase de Diseño. Mediante un sistema rápido, donde se pueden gestionar diferentes propuestas, los arquitectos y diseñadores pueden optimizar la eficiencia en las fases iniciales del proyecto para conseguir mejores construcciones.

Los parámetros que se obtienen en el análisis con el edificio objeto son:

- ◆ Costo de energía anual.
- ◆ Costo de ciclo de vida
- ◆ Las emisiones de CO2 anuales.
- ◆ SUV de equivalencia.
- ◆ Consumo anual de energía eléctrica.
- ◆ La demanda eléctrica pico (kW).
- ◆ Consumo de energía del ciclo de vida.
- ◆ Potencia de suplencia del carbono.
- ◆ Fuentes de energía eléctrica de plantas de su región.
- ◆ LEED Daylight.
- ◆ LEED Water Usage.
- ◆ Análisis Fotovoltaico.
- ◆ Potencial Eólico.
- ◆ Uso de la Energía final.
- ◆ Detalles y suposiciones
- ◆ Datos anuales de energía.

4.8.3 RESULTADOS EN DESIGN BUILDER

Con el análisis energético en Design Builder de manera muy general se obtienen entre otros parámetros [13].

- ◆ Las cargas del sistema.
- ◆ El Consumo Total. (Figura 12)
- ◆ Producción de CO2.
- ◆ Cargas por elementos.
- ◆ Cargas de confort.

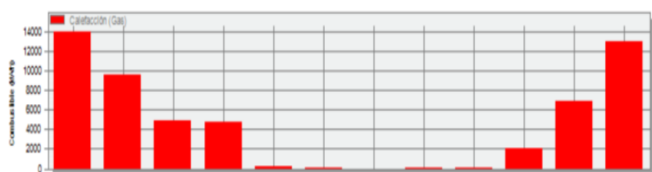
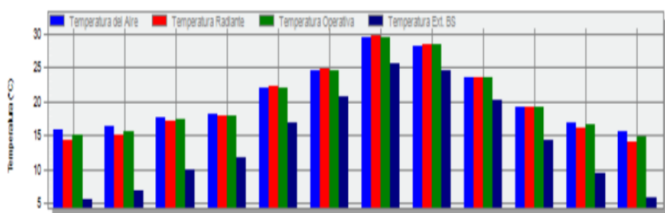


Figura 12 Temperatura, ganancias de calor y consumo del análisis en Design Builder del edificio objeto. Fuente: Design Builder con caso de estudio propio, 2015.

Los resultados de cada programa, tal y como se muestran en la tabla 7, son diferentes tanto en el valor final de energía y consumo, como en la lista de resultados y el fin de uso de éstos.

	Revit	Design Builder
Área común del piso (m2)		
Área	593	511,16
Intensidad de uso de energía:	kWh/sm/yr* MJ/m ² /año	-
EUI de electricidad	96*	-
EUI de combustible	800	-
EUI total	1.146	-
Potencial de energía renovable	kWh/año	
Sistema fotovoltaico montado en cubierta (baja eficiencia)	19.406	-
"Sistema fotovoltaico montado en cubierta (eficiencia media)"	38.811	-
Sistema fotovoltaico montado en cubierta (alta eficiencia)	58.217	-
Potencial de turbina eólica simple de 4,5 m	544	-
Costo/Uso de energía de ciclo de vida (30 años)		
Uso de electricidad de ciclo de vida (kWh)	1.258.389	-
Uso de combustible de ciclo de vida (MJ)	10.460.448	-
Costo de energía de ciclo de vida (\$)	126.608	-
Emisiones de carbono anuales	Toneladas /año	Toneladas /año
Consumo de electricidad	3	-
Consumo combustible	17	-
Potencial fotovoltaico cubierta (alta eficiencia)	-4	-
Potencial de turbina eólica simple de 4,5m	0	-
CO2 neto	16	22,6
Uso/Costo de energía	kWh	kWh
Electricidad	41.946	-
Combustible	63.871,90	55.574
Uso de energía: Combustible	MJ	kWh
HVAC	228.114	55.574
Agua caliente doméstica	120.567	-
Total	348.681 (63.871,9 kWh)	55.574

Tabla 7 Output. Resultados de los análisis de cada programa. Comparativa. Fuente: Elaboración propia, 2015 [14].

No existen muchos parámetros equitativos en Design Builder y Revit. El uso de cada uno es para distintas fases de un proyecto y destinado los dos a un análisis energético pero de diferentes aspectos.

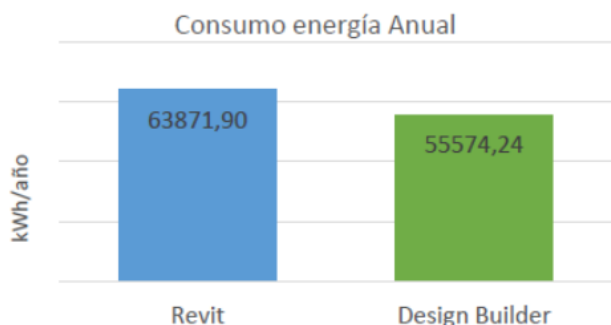


Figura 13. Gráfico de comparativa entre Revit y Design Builder, del consumo de energía. Fuente: Elaboración propia, 2015.

En cuanto al consumo en Revit y Design Builder, se observa que en Revit es mucho mayor que en Design Builder. Esto se puede deber a que las suposiciones y valores por defectos son mayores en Revit que en el otro simulador, en el cual se tiene más control a la hora de insertar los input. (Figuras 13 y 14).

Además del consumo, otros parámetros que determinan los dos análisis son las ganancias y pérdidas por elementos del edificio. Aun así, cada uno tiene su propio criterio a la hora de determinar cada parámetro.

Aunque el consumo es mayor en Revit como se puede ver en el gráfico de la figura 13, las pérdidas son menores. Esto puede deberse a muchos factores como el intervalo de simulación, el rendimiento ambiental, como determine las ganancias solares, los intercambios radiantes, las temperaturas superficiales, etc. (Design Builder deja modificar los resultados y determinar el intervalo y la precisión de estos, pero Revit no tiene esas opciones).

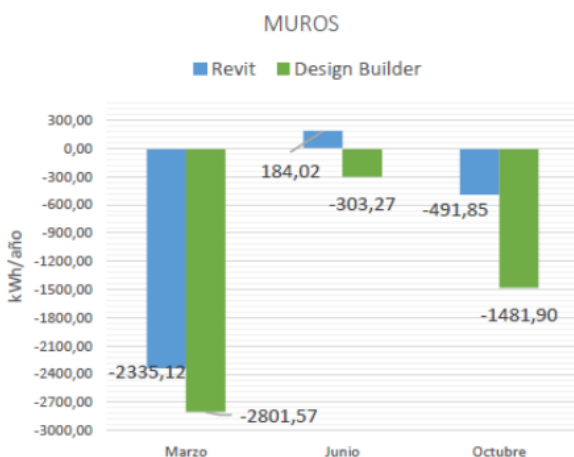


Figura 14. Gráfico de comparativa entre Revit y Design Builder, de las ganancias y pérdidas por muros. Fuente: Elaboración propia, 2015.

5. CONCLUSIONES

Cada programa de modelado establece unas necesidades tanto de datos de entrada como de salida diferentes. No se debe olvidar que Revit no es un programa de simulación energética, aunque sí realiza un análisis de energía del proyecto; es un programa BIM, para proyectar y manejar la información a la hora de tomar decisiones, por lo que es conveniente usar programas externos como Design Builder para completar un análisis energético una vez se haya determinado los aspectos globales que definen el edificio.

El análisis energético que ofrece Revit con el mismo programa o en Green Building Studio de Autodesk no está destinada directamente a un edificio existente, sino que está directamente definida para proyectos de nueva ejecución, y sobre todo en la fase de toma de decisiones de definición del proyecto.

Revit ayuda a los diseñadores a la hora de tomar decisiones en la creación del modelo de la edificación con este análisis energético, se podría decir que no es una herramienta técnica, es una herramienta de diseño y por eso analiza el edificio como un conjunto.

Ayuda a tomar decisiones acertadas y asequibles para mejorar el rendimiento y reducir el impacto ambiental en las primeras fases del proceso de diseño. Mide el uso de energía previsto (combustible y electricidad) en función de la geometría, el clima, el tipo de edificio (uso), las propiedades de la envolvente y sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, e iluminación. Ayuda a comprender el uso de la energía en el edificio en la fase de diseño.

Green Building Studio es la herramienta de análisis energético central en Autodesk. Está basado en la nube y utiliza el motor de cálculo DOE-2. Aun así hace estudios para la primera etapa de diseño como se ha dicho. No tiene el potencial para estudiar dinámica de fluidos, ni para el consumo y ahorro ya que es muy aproximado a la realidad, no tiene el potencial por las variaciones de cálculo y la cantidad de especificaciones que se introducen, los análisis térmicos no muestran simulaciones, sino análisis energéticos de la edificación de forma global y los resultados gráficos arrojados no se deben considerar como absolutos sino como posibles. En cambio DesignBuilder sí permite estos aspectos.

Con DesignBuilder la simulación energética es más detallada y más controlada. Este programa es una interfaz de EnergyPlus para exclusivamente el análisis energético de una edificación, por lo que complementa a un programa BIM ya que se hacen simulaciones con más control y definición. Si existe una compatibilidad con sus archivos, como es en este caso usando gbXML, el proyecto se beneficia del análisis de esta plataforma.

En el trascurso de este trabajo de investigación se determina que no se puede comparar los resultados de manera minuciosa, y que no se puede determinar si uno es mejor que otro, simplemente se determina que cada uno está destinado a una función.

La terminología de cada programa es diferente y el concepto que engloba cada parámetro del análisis que se realiza en ambas plataformas es distinto o tiene matices de diferencia. Además el motor de cálculo que se ha usado es distinto, en Revit se usa DOE-2 y en DesignBuilder se usa EnergyPlus.

El objetivo no era ese, si no conocer y probar el potencial de interoperabilidad entre estos programas que ayudan a los técnicos a la hora de controlar el edificio, el consumo, la toma de decisiones, gastos, fases, etc.

Se demuestra ese potencial de interoperabilidad entre los programas y distintos formatos en cuanto a análisis de eficiencia energética. La idea de interpolar un mismo modelo de una edificación para detallar aspectos determinados que influyen en todo el proyecto, abre un campo amplio para los técnicos de la edificación.

En este trabajo se muestran los aspectos positivos y negativos que tiene la interoperabilidad entre un programa de referencia BIM como es Revit de Autodesk y un programa de referencia de simulación energética como es Design Builder. En términos generales ahorra tiempos de modelado y asignación de características.

Se aumenta la precisión y la retroalimentación en BIM al utilizar otro software. Cabe esperar que se amplíe la precisión de esta interoperabilidad entre programas en cuanto a la eficiencia energética ya que por ahora está a un nivel parcial. El Design Builder solo lee la definición geométrica y gráfica, y las propiedades de los elementos constructivos que se definen en Revit, aunque el archivo gbXML contenga más información.

Revit tiene la capacidad de mejorar para llegar a poder manejar y controlar mejor los datos que se introducen en el modelo para un análisis energético. En algunos casos no se ha conseguido saber con exactitud definiciones que el programa da por defecto (como ejemplo el caso de las instalaciones climáticas, o los datos energéticos de las ventanas).

Al igual que Design Builder tiene también una muy buena capacidad de leer archivos gbXML por lo que podrá mejorarse para que lea más allá de los datos geométricos, gráficos y que definen las superficies y elementos constructivos, para poder leer datos como instalaciones, escenarios, programaciones de actividad, etc.

También se debe mencionar la imposibilidad que tiene Design Builder en la bidireccionalidad del archivo manejado, es decir, importa el gbXML para poder usarlo en dicho software, pero los cambios que se realizan no se pueden exportar de

nuevo a Revit. Falta compatibilidad entre estos programas en este aspecto. Es un aspecto que se puede derivar por el interés económico de cada compañía, ya que ambos programas requieren una inversión económica para su uso.

Este trabajo, además de servir para comprobar el nivel de interoperabilidad que se tienen entre un programa BIM como es Revit y un programa de simulación y análisis energético como es DesignBuilder, puede derivar en líneas paralelas que realicen la misma metodología de investigación, con otros programas BIM y otros programas específicos, ya sean de simulación energética, análisis estructural, organización y gestión en obra, etc.

De esta forma se alcanzará un proyecto más fiable, trabajable y con mayor facilidad de manejo para el uso que necesiten consultores, arquitectos, ingenieros y técnicos del sector.

Al usar un edificio existente como modelo se destaca que a pesar de que el modelo BIM contiene mucha información de los materiales, estructura, instalaciones, uso, etc. no se debe olvidar que en ocasiones los datos difieren con los monitorizados reales de un edificio existente. Esto se deriva de las simplificaciones y supuestos del modelo que se simula para poder manejar los datos de entrada, o por la falta de datos por reformas, cambios, etc.

Los datos regionales, como el clima, la estación meteorológica, los materiales de la base de datos, las unidades de las propiedades térmicas, son datos que se deben de adaptar de las bases de EEUU y genera bloqueos o inconvenientes que hacen retrasar el avance del proyecto. Son aspectos que se han conseguido asimilar en el proceso de la investigación pero han retrasado a la hora de avanzar con fluidez.

Un posible enfoque en el que se podría trabajar a la hora de hacer más factible la incorporación e BIM a las edificaciones existentes son:

- ◆ La automatización de capturas de datos y la creación de un BIM de manera digital (sin preexistente).
- ◆ La actualización y mantenimiento de la información BIM de ese edificio por parte de la Administración pública (una línea de Catastro).
- ◆ La manipulación y modelado de datos inciertos, objetos y relaciones y usos que ocurren en los edificios existente en BIM.

6. AGRADECIMIENTOS

Financiado con fondos europeos del programa Horizon 2020 de investigación e innovación. (Grant agreement N0. 754016). Proyecto Net-UBIEP. Network for using BIM to increase energy performance. Convocatoria H2020-EE-2016-CSA.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Olier, «El binomio de moda en España: Eficiencia Energética y las Smart Cities,» *Facility Management Services*, nº 2, pp. 26-28, 10 2014.
- [2] S. A. Ortega, «Herramientas de evaluación de sostenibilidad: La certificación LEED,» *Facility Management Services*, nº 2, pp. 30-33, 2014.
- [3] I. Workshop, «IFC Workshop,» [En línea]. Available: http://www.ifcworkshop.es/secciones/ifc/ifc_BIM.html
- [4] E. Coloma Picó, «Introducción a la Tecnología BIM,» Departamen d'Expressió Gráfica Arquitectónica I Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, Barcelona, 2008.
- [5] Y. Ham y M. Golparvar-Fard, «Mapping actual thermal properties to building elements in gbXML-based,» *Automation in Construction*, nº 49, pp. 214-224, 2015.
- [6] S. Kota, J. S. Haberl, M. J. Clayton y W. Yan , «Building Information Modeling (BIM)-based daylighting simulationand analysis,» *Energy and Buildings*, nº 81, pp. 391-403, 2014.
- [7] A. Porwal y K. N. Hewage, «Building Information Modeling (BIM) partnering framework for public,» *Automation in Construction*, vol. 31, pp. 204-214, 2013.
- [8] R. Volk, J. Stengel y F. Schultmann, «Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature,» *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 109-127, 2014.
- [9] Jong Bum Kim,WoonSeong Jeong, Mark J. Clayton, y Jeff S. Haberl, Wei Yan, «Developing a physical BIMlibrary for building thermal energy simulation,» *Automation in Construction*, vol. 50, pp. 16-28, 2015.
- [10] g. Org, «gbXML. Open Green Building XML Schema: a Building Information Modeling Solution for Our Green World,» [gbXML.org](http://www.gbxml.org/), 2015. [En línea]. Available: <http://www.gbxml.org/>. [Último acceso: Abril 2015].
- [11] A. K. Network, «Autodesk Revit 2015 Ayuda,» Autodesk, 2014. [En línea]. Available: <http://help.autodesk.com/>. [Último acceso: Abril 2015].
- [12] Autodesk, «Building Performance Analysis,» [En línea]. Available: <https://gbs.autodesk.com/GBS/?redirectUrl=%2FGBS%2FAccount%2FMyProfile>. [Último acceso: 2015].
- [13] A. B. S. S. C. «Building Smart Spanish home of open BIM,» [En línea]. Available: <http://www.buildingsmart.es/>. [Último acceso: 2015].

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

Building information modeling (BIM) to manage desing and construction phases of Peruvian public projects

Building information modeling (BIM) para la gestión del diseño y construcción de proyectos públicos peruanos

JOSE SALINAS

Mag. Ing., Peruvian University of Applied Sciences.
pccijal@upc.edu.pe

GUILLERMO PRADO

Ing., Pontifical Catholic University of Peru.
guillermo.prado@pucp.pe

An approach of the application of Building Information Modeling (BIM) in public projects is presented. The aim of this research is to obtain benefits on the design stage based on a collaborative and integrated processes which involves all the stakeholder's participation for the understanding of the project through the visualization of BIM models in order to avoid interferences and future problems. This will cause the reduction additional costs (over budget) and term extensions during the construction phase. Although BIM should be used since the design stage, this study will provide an approach of BIM application on projects that already has an approved technical file which the BIM fill focused on the construction stage. The literature review shows successful experiences of BIM implementation in Europe, Asia and America, where the construction time and cost were significantly reduced by the use of BIM. This approach starts by the understanding of the BIM uses related with the collaborative work and align them to the needs of the Peruvian construction industry in a gradual, sustainable and growing commitment, which must start by the government dictate that will be the one that defines a "roadmap" to follow.

BIM; Design; Construction; Public projects; Peruvian public sector.

En el presente artículo se presenta una propuesta de aplicación de la tecnología BIM (Modelado de la Información de las Construcciones) en proyectos públicos peruanos de construcción. La finalidad de esta propuesta es obtener beneficios desde el diseño basándose en un proceso colaborativo e integrador de todos los involucrados para el entendimiento del proyecto a través la visualización de modelos virtuales, detectar interferencias y lograr solucionar los problemas que se presentan en los proyectos. Lo mismo que conlleven a la reducción de adicionales y ampliaciones de plazo durante el proceso de construcción. Si bien la tecnología BIM se debe aplicar desde el diseño, también se presenta una propuesta de la aplicación de BIM para proyectos que ya cuenten con un expediente técnico aprobado y su aplicación se centre en la etapa de construcción. Contamos con experiencias exitosas que se han obtenido en Europa, Asia y América, en donde se ha logrado reducir significativamente los tiempos y los costos de construcción. Esta propuesta parte por entender los usos de BIM asociados al trabajo colaborativo y alinearlos a las necesidades de nuestra industria en una apuesta gradual, sostenible y creciente, que debe partir por el mandato gubernamental que será la que marque la "hoja de ruta" a seguir en este proceso

BIM; Diseño; Construcción; Proyectos públicos; Sector público peruano.

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos públicos de construcción en Perú presentan muchos problemas. Éstos son causados por una poca eficiente gestión en las etapas de planificación y ejecución, falta de control estatal, fragmentación inherente a las contrataciones estatales, trabas financieras y estudios básicos de pre-inversión de mala calidad o incompletos [1]. Los problemas mencionados ocasionan costos adicionales de obra e innumerables retrasos en la etapa de ejecución; asimismo, esto trae como consecuencia menos confianza por parte del Estado para realizar futuros proyectos.

No obstante, el Banco Mundial posee estadísticas donde se observa un gran crecimiento de Perú dentro de su región entre los años 2002 y 2015 a causa de un contexto externo favorable; reformas estructurales que permitieron el crecimiento del país y políticas macroeconómicas prudentes [2].

En el desarrollo de cualquiera de las etapas de estos proyectos es manifiesto que la información fluye por diversos grupos, lo que obliga a tener adecuada comunicación afín de alcanzar las metas establecidas; pero la cual no se genera en la práctica. De la misma forma, no se fomenta una integración a niveles de organizaciones ni entre las fases de proyecto, lo

que ocasiona aumentos de costo, retrasos en la entrega y baja productividad; lo que también es generado porque estos proyectos no responden a un objetivo estratégico de desarrollo. Adicionalmente; no poseen una adecuada ejecución en la etapa de diseño, de la misma forma ocurre en la etapa de construcción y hay una falta de participación de los usuarios finales en la concepción de estos proyectos [3].

Con el nuevo sistema de inversión pública implantado por el estado peruano (INVIERTE.PE) se busca generar mejores resultados que con el todavía existente Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) debido a una nueva forma de planificación presente en el primero mencionado y a la mayor agilidad con los trámites necesarios para desarrollar proyectos públicos de construcción. Además del cambio de sistema mencionado, hay metodologías empleadas en el mercado local, básicamente en el sector privado, que aumentan la productividad de los proyectos de construcción y que se vienen usando desde inicios de la década, pero que no son promovidas por el estado.

Una de éstas metodologías es la del Modelamiento de la Información de las Construcciones (BIM, por las siglas en inglés de Building Information Modeling), la cual ha sido implementada por diversos gobiernos alrededor del mundo desde hace varios años y en donde se han obtenido mejoras, generando un cambio positivo en la industria de la construcción.

Esto debido al sistema "Top – down" usado en la implementación de BIM, al papel del Estado como el cliente que puede solicitar el uso de BIM, siendo requisito fundamental para el desarrollo de proyectos públicos de construcción y al papel del estado como el propietario final del proyecto entregado que obtendrá los beneficios de la adopción de BIM para gestionar de manera más eficiente el proyecto en la etapa de mantenimiento [4].

Como puede verse, en Perú existen muchos problemas al gestionar proyectos públicos, problemas que han sido mitigados en otras partes del mundo por medio de la aplicación de BIM ya sea en forma de normas o "buenas prácticas" tomadas por diversos países. Debido a ello, en este trabajo de investigación se presentarán los principales aportes hechos por los países líderes en implementación BIM a nivel de sector público.

También se presentará el proceso que tienen los proyectos públicos de construcción en Perú, visto como una realidad en la que la industria debe alinear sus esfuerzos para obtener mejores resultados. Y, finalmente, se hará una "propuesta de aplicación BIM" a los proyectos de construcción públicos peruanos para enfocar la aplicación de BIM a generar mayor valor público en estos proyectos.

2. METODOLOGÍA

Para lograr la "propuesta de aplicación BIM" que permitirá

una adecuada implementación BIM que afecte los proyectos públicos de construcción se seguirán los siguientes pasos: Primero, se presentará lo que se ha realizado en el mundo respecto a implementación BIM liderada por el gobierno de cada país, destacando los aportes hechos por Estados Unidos de América, Reino Unido y Singapur; y los aportes de los países de América del Sur, por ser países vecinos de Perú.

Luego, se expondrá la legislación vigente que afecta a los proyectos públicos (también conocidos como inversiones) de construcción en Perú para entender cuáles son los procesos que deben seguirse en estos proyectos y en qué parte es más conveniente aplicar BIM, por ser una herramienta que promueve el trabajo colaborativo.

Asimismo, se expondrán los esfuerzos realizados hasta la fecha por el gobierno peruano para usar BIM en sus proyectos. Finalmente, con la experiencia recogida de los países líderes en implementación BIM, entendiendo la situación actual del sector público en lo que respecta a la industria de la construcción e incluyendo los esfuerzos realizados por el gobierno peruano sobre BIM; se pasará a presentar la "propuesta de aplicación BIM" a proyectos de construcción públicos.

3. REVISIÓN DE LITERATURA: BIM EN EL SECTOR PÚBLICO

BIM nace como una necesidad de la industria de la construcción ante la decreciente productividad que venía mostrando. Estudios realizados en los Estados Unidos mostraron que una de las causas ha sido la fragmentación de la industria y el poco uso de la tecnología [5].

En nuestro país se han realizado trabajos de tesis que muestran que una de los principales problemas que se presentan en los proyectos son la compatibilización de planos, errores de diseño, entre otros que generar una cantidad importante de documentos con requerimiento de información (RFI, por sus siglas en inglés) [6].

Estudios realizados por McKinsey Global Institute [7], muestran que nuestra industria mantiene un bajo nivel de uso de la digitalización con apenas un 6% en comparación a otras industrias como la agricultura, forestal, pesca y caza con 10%; minería con un 15%; aceite y gas con 20%; química y farmacéutica con un 23%; entre otras, por otro lado la adopción de nuevas tecnologías en la sociedad es bastante acelerada y creciente en los últimos años debido a la facilidad con que se adoptan los usuarios, sobre todo las nuevas generaciones como los "millenials" y generación Z, lo que garantiza que la adopción de esta tecnología va a demandar poco tiempo.

A continuación, se presentarán términos clave para entender la aplicación de BIM y las diversas adopciones hechas en otros países respecto a éste. Seguido de ello se presentarán los aportes hechos por los países líderes en implementación BIM a nivel de sector público y, finalmente, se presentarán los

estados de implementación BIM en los países de América del Sur.

3.1 CONCEPTOS PREVIOS

- ◆ Tecnología de Información BIM: debemos tener claro que BIM como una tecnología de la información tiene 3 componentes que deben ser atendidos para lograr una adecuada adopción: las herramientas, los procesos y, lo más importante, las personas. El pretender adoptar BIM sin las herramientas adecuadas puede ocasionar que no se logre un trabajo eficiente de los stakeholders. Por otro lado, el gestionar los proyectos con BIM requiere de un replanteo de los procesos de gestión de los involucrados, en los diferentes escenarios con el fin de lograr el éxito del proyecto y finalmente y no menos importante es la gestión de personas, donde lo que se busca en primer lugar es que aporten al proyecto con su experiencia y su "know how", todos los involucrados en forma oportuna. En esta etapa juega un rol importante el BIM manager ya depende mucho de él, el poder lograr la sinergia del equipo [9].
- ◆ Niveles de Desarrollo: el concepto de nivel de desarrollo (LOD, por las siglas en inglés de Level of Development) se refiere a la madurez de la información que posee un elemento modelado, los que pueden ser parte de un material, sistema constructivo, componente o montaje del edificio [10]. LOD también hace referencia al nivel de confiabilidad de la información colocada en el elemento y la geometría de éste, para que pueda ser utilizada por el grupo de trabajo [11].
- ◆ Estandarización: la estandarización es el proceso de generación de estándares [12], los cuales son un convenio de soluciones especificadas para un cierto tipo de problemas que satisface las necesidades de todos los involucrados, las cuales pueden ser repetidas numerosas veces [13]. Es necesario que toda la información generada sobre BIM siga un proceso ordenado de estandarización, lo que proveerá de documentación valiosa que agregue valor a la implementación BIM en diversas organizaciones. Para el caso de BIM se tiene el IFC (Industry Foundation Class) como un estándar internacional y abiertamente aceptado por toda la industria AEC que permite el intercambio de información entre los programas de computadora usados en proyectos de construcción [12].
- ◆ Mapeo de procesos: es una actividad empírica por la cual se define la forma de trabajo, las responsabilidades de cada involucrado y los resultados esperados de los procesos desarrollados por alguna empresa o entidad. Por ser empírico, se basa en el conocimiento del funcionamiento general de dicha institución; además, se puede usar para establecer los indicadores que determinarán si los resultados son satisfactorios o no. La finalidad de estos mapas es presentar un esquema que

demuestre el flujo operacional y la interrelación entre todos los involucrados y sectores, lo que luego es usado como una línea base que muestra el diagnóstico de los procesos actuales para que puedan ser perfeccionados por el equipo de trabajo. Usualmente son realizados por medio de entrevistas, talleres colaborativos, reuniones, recorridos en el lugar de trabajo, recopilación documentaria, etc. [14] [15].

- ◆ Sesiones de Ingeniería Concurrente Integrada (ICE): es un método social que mediante el uso apropiado de la tecnología crea y evalúa modelos virtuales realizados por equipos multidisciplinarios en tiempos extremadamente rápidos [16]. El principal objetivo de las sesiones ICE es resolver los problemas de los proyectos en tiempos muy cortos de tiempo por medio del trabajo colaborativo entre todos los involucrados; para ello, la aplicación de los modelos BIM en estas reuniones es fundamental, ya que presenta una plataforma objetiva de trabajo, sobre la cual se pueden tomar decisiones.
- ◆ Plan de ejecución BIM: (BEP, por las siglas en inglés de BIM Execution Plan) es el documento más importante para la adopción de BIM en un proyecto. Es elaborado por todo el grupo de trabajo, lo que lo convierte en uno de los primeros documentos desarrollado de forma colaborativa por todo el grupo. En su desarrollo deben participar también los stakeholders posteriores, como el constructor, usuarios finales, etc. El BEP es único y es dinámico, conforme el proyecto cambia, el BEP del proyecto también lo hace [8].

3.2 BIM EN OTROS PAÍSES

Muchos países han tomado la implementación BIM como uno de sus principales objetivos dentro de sus proyectos públicos para poder incrementar la productividad en el sector construcción y para impulsar el cambio en esta industria, necesidad que han visto debido al cambio climático y a la comparación de los niveles de productividad de la construcción contra otras industrias [4].

Cheng & Lu (2015) han recopilado los principales aportes realizados por cada país que pertenece a las regiones estudiadas en materia de implementación BIM a nivel de sector público.

Un resumen de la recopilación mencionada se encuentra en la ilustración 1, donde destacan los aportes hechos por Estados Unidos de América, Reino Unido, Singapur y Australia. De los cuáles los 3 primeros son los referentes a nivel mundial de implementación BIM no solamente por los estándares, normativas y demás documentos que han emitido; sino también por los diversos roles que adopta el sector público al liderar la adopción de BIM en sus respectivas industrias [17].

- ◆ Estados Unidos de América: La Administración de Servicios Generales de los Estado Unidos (GSA, por sus siglas en

Region	Country, City or Organization	BIM Adoption		
		Targets and Promises	BIM implementation	
The United States	Nation-wide	NBS, USAGE, GSA, VA, AIA, NIST, AGC	Require BIM on projects	BIM programs, committees, BIM workshops and training courses, fund BIM and R&D projects, USACE - BIM roadmaps
	State-wide	Wisconsin, Ohio, Tennessee	Require BIM on projects	BIM projects
	City-wide	New York, Seattle	Require BIM on projects	BIM projects
	University-wide	PSU, LACCD, IU, etc	Require BIM on projects	BIM projects
Europe	the United Kingdom	BSI, CIC, AEC-UK	Adopt Level 2 BIM by 2016	BIM Task Group, BIM sessions, BIM training programs
	Norway	Statsbygg. Etc.	2010, Gov. Commitment to BIM 2010, Statsbygg - require BIM for new buildings	BIM programs, pilot and R&D projects
	Finland	Senate Properties	2007, require the use of IFC/BIM for its projects	BIM projects
	Denmark	Palaces & Properties Agency, etc.	Danish state clients such as the Palaces & Properties Agency require BIM	Digital Construction project
	Sweden	Transportation Administration, etc.	2015, all investment projects use BIM	BIM implementation project, pilot projects to demonstrate BIM
	Netherlands	Rijkswaterstaat, Rijksgebouwendienst	2011, mandate BIM in building projects with 7,000,000 m ²	BIM 2012-2014 program, pilot projects, BIM database
	Asia	Singapore	BCA	2015, 80% of the industry using BIM and BIM e-submission
	Korea	MILTM, PPS. KICT, KIKCTEP	MLTM, PPS mandate BIM before 2016	MLTM - BIM implementation roadmap, BIM program, BIM R&D projects, PPS - BIM fund
	Japan	MLIT, JFCC, JIA	2010, MLIT mandate BIM in government projects	MLIT-BIM pilot projects, JFCC - BIM special section, BIM seminar
	Mainland China	The Ministry of Housing and Rural Urban Development	2012, release the national 12th Five Year Plan (2011 - 2015)	BIM-related national standards program
	Taiwan	NTU, etc.	No Gov. Commitments to BIM	Fund BIM projects, centers, NTU - BIM conferences, forums, training workshops, publications and research projects
	Hong Kong	HA, ArchSD, MTRC, HKIBIM, HKCIC, etc.	HA - BIM in all new projects by 2014	BIM projects, conferences, ArchSD - BIM development unit, training courses, pilot projects, Lands Department - 3D spatial database, BM seminar, HKIBIM - BIM committees
Australasia	Australia	BEHC, AMCA, NATS-PEC	Require 3D BIM for Gov. projects by 2016	BEHC - BIM plan, pilot projects, AMCA - BIM initiative, forums, training plans

Ilustración 1: Esfuerzos hechos por países en implementación BIM desde el sector público. Extraído de Cheng & Lu (2015)

inglés) desarrolló el “Programa Nacional de 3D-4D-BIM” en el 2003. Este programa determinó las políticas que guiarían la implementación de BIM para los proyectos de construcción (edificaciones) públicos en Estados Unidos.

El uso de BIM por parte de GSA le propició tener mejor control durante el desarrollo del proyecto para terminarlo dentro del plazo establecido, ser más efectivo en usar sus recursos y mejorar la calidad del diseño y construcción de sus proyectos [18]. Además, esta institución identificó el aumento de eficiencia mostrado por parte de la simulación, coordinación, visualización y optimización en otras industrias (tanto en la parte pública como privada); las cuales son aplicables a la industria AEC gracias a la implementación de BIM.

Por medio del “Programa Nacional de 3D-4D-BIM” se promueve la aplicación de BIM de la siguiente manera:

- Soporte (expertos y recursos) en la adopción BIM a

entidades estatales y a proyectos independientes.

- Asesoramiento sobre la mejor forma en usar la información obtenida del modelo BIM para la etapa de operación y mantenimiento.
- Generación de propuestas de lenguaje contractual para los servicios BIM.
- Promoción del involucramiento de los proveedores de servicios BIM y profesionales pertenecientes a la industria AEC.
- Creación de estándares BIM.
- Incorporación a la academia para desarrollar investigaciones sobre el uso de BIM [17].

Adicionalmente, dentro de este programa también se han desarrollado 8 guías que orientan la adopción BIM. Estas guías abordan temas como el contexto en donde se

desarrolló el “Programa 3D-4D-BIM”; usos BIM como la simulación 4D, coordinación, eficiencia energética, etc.; y gestión de los activos en la etapa de operación y mantenimiento. Una característica propia de la implementación BIM en Estados Unidos son los diferentes niveles donde se lleva a cabo la adopción de BIM; no son solamente instituciones públicas, también son universidades, empresas y otras organizaciones pertenecientes a la industria que aportan a que la implementación BIM sea fructífera [17]. Todas estas organizaciones poseen sus propios estándares y se crea algún tipo de “sana competencia” entre sus pares.

- ◆ Reino Unido: Se puede considerar al Reino Unido como los líderes en implementación BIM desde el gobierno. Las guías, estándares y niveles están interrelacionados por medio de su mapa de maduración BIM.

En este mapa se incluye la participación de toda la industria (academia, contratistas, proveedores, etc.) y se promueve el trabajo colaborativo e integrado de todos ellos en proyectos públicos considerando al estado británico como el líder en esta innovación [19]. Este mapa considera que la maduración BIM posee 4 niveles, los cuales son los siguientes:

- Nivel 0: es la forma de trabajo tradicional con CAD, solamente planos en 2D. Si bien se puede desarrollar un modelo, éste no se gestiona. Hay intercambio de información, pero cada involucrado lo hace sin formatos ni reglas preestablecidas en conjunto. No hay colaboración.
- Nivel 1: Hay una gestión incipiente de planos CAD. Se usan planos 2D en conjunto con modelos en 3d, los que poseen objetos con atributos. Estos modelos son usados por cada especialidad y sirven, básicamente, para visualización.
- Nivel 2: Existe trabajo colaborativo por medio de modelos, los cuales sirven para que los involucrados en esta etapa desarrollen el diseño del proyecto; sin embargo, no se trabaja sobre un mismo modelo. Existen documentos y archivos estandarizados para cada especialidad, lo que da como resultado que los modelos partan desde una misma “plantilla”, los que luego se compatibilizan según pasen por cada especialidad. Adicionalmente, es común el uso de modelos 4D y 5D. Este nivel es particular, pues se ha establecido la obligatoriedad de alcanzar este nivel para el 2016 en todos los proyectos públicos.
- Nivel 3: Hay integración entre todas las especialidades involucradas en el proyecto. Existen formatos y archivos comunes para los modelos, los cuales sirven para la etapa de diseño y se usa su información para las siguientes etapas. Los modelos

son colaborativos, poseen características para trabajarlos online y la información que poseen es accesible para todos los participantes, con la cual pueden hacer estimaciones de costos, secuencia constructiva, etc. [20].

- ◆ Singapur: La Autoridad de la Construcción y Edificaciones (BCA, por sus siglas en inglés) ha generado por medio de su Red de Constructoras e Inmobiliarias (CORENET, por sus siglas en inglés) un repositorio de códigos gubernamentales y guías de apoyo para dirigir el apropiado uso de BIM [17]. Estos documentos tratan los siguientes temas: implementación BIM para las fases de los proyectos, integración entre los involucrados, determinación de tareas y entregables para cada especialidad, etc.

En el 2010 se presentó el primer “BIM Roadmap” del gobierno, el cual posee las siguientes estrategias:

- Incentivar a las empresas constructoras a la aplicación de BIM.
- Incentivar a instituciones del estado a solicitar BIM como requerimiento para contratar con ellos.
- Disminuir los impedimentos para no aplicar BIM en proyectos de construcción.
- brindar asesoramiento para manejar software de modelado BIM [21].

Luego de 3 años de este “BIM Roadmap”, se presentó en el 2014 una segunda versión que implementó nuevas estrategias como: generar programas de entrenamiento más grandes sobre el uso de BIM, promover la colaboración BIM entre todos los involucrados de la cadena de suministro, realizar más proyectos de investigación y trabajar en conjunto con la industria manufacturera que genera los materiales para los proyectos de construcción usando información obtenida del modelo BIM [22].

Adicionalmente a los países líderes en implementación BIM a nivel de sector público, también se mostrarán los aportes hechos por los países de la región de América del Sur, los cuales no están recogidos en el artículo de Cheng & Lu (2015). Cabe mencionar que los países sobre los que se hablarán son los que poseen algún esfuerzo por parte de sus gobiernos o algún documento estandarizado en lo que respecta a implementación BIM.

- ◆ Argentina: BIM FORUM ARGENTINA es la organización conformada por entidades públicas y privadas (universidades, ministerios, empresas consultoras, empresas proveedoras, etc.) de Argentina que lidera el cambio generacional hacia el uso de BIM por el que está pasando la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción en dicho país [23]. Hasta el momento se ha publicado un

estándar BIM donde se tiene como objetivos el disponer de una guía de fácil aplicación de los usos BIM, promover la aplicación de BIM y establecer una manera similar de aplicación BIM para las instituciones que deseen utilizarlo [24].

A pesar de no tener el sector público de Argentina un plan para la implementación BIM, se han desarrollado algunas mesas de trabajo convocadas por la Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública para tratar temas sobre la futura y paulatina implementación de BIM en las obras públicas de este país [25].

- ◆ Brasil: es uno de los pocos países de la región que ya presenta un “plan” por parte del sector público que representa una hoja de ruta a seguir en implementación BIM. En este país existe una “Estrategia BIM BR” planteada por el Gobierno Federal de Brasil y liderada por el Ministerio de Industria, Comercio exterior y Servicio (MDIC) en asociación con la Agencia Brasileira de Desarrollo Industrial (ABDI).

Esta estrategia tiene como objetivos aumentar la productividad de la construcción civil, reducir los costos de producción, incentivar la competencia del mercado y ampliar la transparencia en las obras públicas de todo Brasil. Además, Estrategia BIM BR ha lanzado una “Plataforma BIM BR”, el cual es un portal con contenido dinámico que hospedará la Biblioteca Nacional BIM (BNBIM) con el fin de tener todas las bibliotecas de objetos BIM conglomerados en dicho portal [26].

Todos los objetivos y directrices de trabajo para implementar BIM de una manera escalonada y con indicadores definidos para evaluar los resultados están expresados en el BIM BR Roadmap [27] es la hoja de ruta a seguir para implementar BIM satisfactoriamente en Brasil.

- ◆ Chile: El Comité de Desarrollo Digital de la Corporación del Fomento de la Producción (CORFO) es la institución pública encargada de liderar la implementación de BIM por medio de Planbim, el cual también es impulsado por el plan estratégico Construye 2025 de la misma corporación.

El Plan tiene como objetivo incrementar la productividad y sustentabilidad – social, económica y ambiental – de la industria de la construcción mediante la incorporación de procesos, metodologías de trabajo y tecnologías de información y comunicaciones que promuevan su modernización a lo largo de todo el ciclo de vida de las obras. Para ello, ha establecido como meta el uso de BIM en el desarrollo y operación de los proyectos de edificaciones e infraestructura pública para el 2020.

Este Plan también contempla la promoción de BIM en las universidades, tanto en los programas de pregrado como de posgrado, para obtener el recurso humano que se

necesitará en la implementación de BIM en sus proyectos públicos [28]. Además, también se han generado acuerdos y líneas de acción que involucran a todos los actores de la industria de la construcción a fin de trabajar colaborativamente en la aplicación de BIM y conseguir los objetivos planteados [29].

4. PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SECTOR PÚBLICO PERUANO

En esta sección se explicará el marco normativo que rige las obras públicas del estado peruano, se pondrá como ejemplo los problemas presentados en los proyectos de inversión pública (PIP) del sector salud y se presentará los esfuerzos realizados hasta el momento en lo que respecta a implementación BIM en proyectos públicos en Perú.

4.1 MARCO NORMATIVO QUE RIGE LOS PROYECTOS PÚBLICOS DE CONSTRUCCIÓN

Los proyectos públicos de construcción u obras públicas son un conjunto derivado de actividades materiales (construcción, reconstrucción, mejoramiento, demolición, excavación, etc.) las cuales se realizan sobre bienes e inmuebles, tales como edificaciones, puentes, entre otros, que requieran de dirección técnica, expediente técnico, mano de obra, materiales y/o equipo que buscan satisfacer las necesidades de la comunidad [30].

Para poder satisfacer alguna necesidad nace una idea, la cual debe demostrar rentabilidad social. Para poder determinarla, esta idea ingresa a un sistema, denominado Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones – Invierte Perú, antes conocido como el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP).

Con este nuevo sistema (Invierte Perú) se fortalece la fase inicial con una programación estratégica que agiliza la formulación y evaluación de proyectos; identifica y prioriza proyectos que cierran brechas sociales y económicas [31].

A diferencia de las 3 fases que contenía el SNIP (Pre inversión, Inversión y Post inversión), Invierte Perú posee 4 fases: Programación Multianual, donde se hace el diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios públicos, y la definición de los objetivos a alcanzarse respecto a dichas brechas; Formulación y Evaluación, comprende la formulación del proyecto, de aquellas propuestas de inversión consideradas en la programación multianual, y la evaluación respectiva sobre la pertinencia de su ejecución, debiendo considerarse los recursos para la operación y mantenimiento del proyecto y las formas de financiamiento; Ejecución, abarca la elaboración del expediente técnico y la ejecución física y financiera respectiva; y Funcionamiento, comprende la operación y mantenimiento de los activos generados con la ejecución de la inversión pública, en esta etapa las inversiones pueden ser objeto de evaluaciones ex post, con el fin de tener

lecciones aprendidas [32].

Con estas nuevas fases en el marco que rige las obras públicas se busca evitar los problemas que existían con el SNIP, como la gran diferencia entre los proyectos declarados viables y los proyectos que se han ejecutado, la falta de automatización de procesos, mala disponibilidad presupuestal y el mal financiamiento para los proyectos dentro del SNIP, mucho de esto debido a la falta de estudios adecuados desde etapas tempranas en estos proyectos.

Durante todas las fases de Invierte Perú se hacen contrataciones con el estado, las cuales son reguladas por la Ley de Contrataciones del Estado (Ley N° 30225), la cual tiene por finalidad maximizar el valor de los recursos públicos que se invierten con las mejores condiciones de precio y calidad, que permitan el cumplimiento de los fines públicos y tengan una repercusión positiva en las condiciones de vida de los ciudadanos [33].

Dentro de esta ley se establecen los diversos tipos de contratación que se aplican a las obras públicas y se dan las consideraciones necesarias para poder mejorar las contrataciones del estado [34].

Por ejemplo, se tiene como principio la transparencia y la vigencia tecnológica, además de otros principios, para la contratación hecha por el estado. Sin embargo, no se ha visto esto reflejado en los diversos proyectos públicos donde se observa tecnología antigua aplicada a ellos y donde hay múltiples denuncias por corrupción que involucran tanto a funcionarios públicos como a empresarios de grandes constructoras del país.

4.2 CASO DE INVERSIÓN PÚBLICA EN SECTOR SALUD

La Asociación Nacional Invierte Perú (ANIP) ha realizado una estadística donde se muestran los proyectos de inversión pública (PIP) del sector salud que han satisfecho sus objetivos de costo, tiempo y alcance. Se han evaluado 734 proyectos del sector salud entre los años 2001 – 2014, tiempo en el que la normativa vigente era el SNIP. Estos son los resultados respecto a estos indicadores:

- ♦ Costo: 14 (1.91%) proyectos se han ejecutado con el monto indicado en su fase de viabilidad y 434 (59.13%) se han ejecutado con un monto menor al indicado en su fase de viabilidad, con un -28.86% en promedio. Los 286 (38.96%) restantes han sido ejecutados con un monto mayor al indicado, 28.59% más en promedio con picos de hasta 200% más respecto al monto establecido en viabilidad.
- ♦ Tiempo: 8 (1.09%) proyectos se han ejecutado en el plazo previsto en su fase de viabilidad, 369 (50.27%) se han ejecutado en un plazo menor al previsto. Ninguno de estos 377 proyectos supera los tiempos determinados en su fase de viabilidad. Los 357 (48.64%) restantes se han ejecutado en un plazo mayor al previsto en la fase de

viabilidad, teniendo casos donde retrasos son mayores al 100% del tiempo calculado y un caso extremo donde se tiene un retraso de 9000%.

- ♦ Alcance: 32 (4.36%) proyectos no cumplieron los objetivos que el proyecto demandaba, mientras que los 702 (95.64%) proyectos restantes han logrado con éxito cumplir los objetivos que el proyecto demandaba [35].

Estos resultados muestran las deficiencias que existen en los proyectos públicos: entremos de 200 % de adicionales en costo, hasta 9000 % de retrasos en tiempo de entrega y objetivos no alcanzados con los que los proyectos fueron concebidos. Además, se sabe que no existe predictibilidad en las etapas iniciales de éstos, lo que ocasionan consumos innecesarios de recursos.

Por otro lado, la burocracia presente en el sector público dilata los tiempos de revisión y aprobación de los proyectos, lo que ocasiona que la brecha que éstos atienden no se cierre y las necesidades sigan sin satisfacerse. Es evidente que un cambio debe hacerse en la forma que desarrollamos proyectos a fin de que estos problemas se mitiguen.

4.3 BIM EN EL SECTOR PÚBLICO PERUANO

El uso de BIM no es ajeno a los proyectos públicos de construcción del Perú ni a las instituciones del estado peruano, los ministerios del Interior, Educación, Justicia y de Vivienda, Construcción y Saneamiento han tenido charlas sobre el uso de esta metodología en sus instalaciones con el objetivo de poder implementar BIM en sus diversos proyectos.

El Ministerio del Interior (MININTER) dentro de su convenio marco con la Organización Internacional de las Migraciones (OIM) ha desarrollado 3 proyectos donde se ha usado BIM en diversas formas. Los alcances se explicarán a continuación:

- ♦ “Ampliación y mejoramiento de la escuela técnico superior de mujeres pnp – San Bartolo”: se usó BIM en la construcción y ha generado términos de referencia (TDR) donde se indica los requerimientos para aplicar BIM a este proyecto.

Dentro de estos TDR se encuentran algunos conceptos descritos sobre la implementación BIM (BIM, sesiones de ingeniería concurrente (ICE), nivel de desarrollo, etc.) que deben ser mejor explicados para poder obtener un resultado más prolijo del uso de esta tecnología. Además, se precisan en estos TDR los formatos y los recursos necesarios a usarse en el proyecto mencionado para tener un flujo de información mucho más dinámico entre todos los involucrados.

- ♦ “Nuevo hospital de la policía - Luis N. Saenz”: en este proyecto se requiere el uso de BIM desde la etapa de diseño. Asimismo, se desarrollaron unos TDR con el mismo formato descrito en el proyecto anterior.
- ♦ “OE – PNP Chorrillos”: en este proyecto se está aplicando

el modelado virtual desde la etapa de diseño y se están generando propuestas para darle más calidad a esta etapa. Es importante mencionar que este proyecto posee un Plan de Ejecución BIM detallado conforme a lo que establecen los TDR del proyecto; la cual es la principal diferencia con los otros dos proyectos [36].

El Ministerio de Justicia (MINJUS) por medio de la Oficina de Infraestructura Penitenciaria (OIP) del Instituto Nacional Penitenciario (INPE) ha desarrollado un proyecto (albergue penitenciario) usando BIM desde el diseño, siendo gestionado de manera interna por propios especialistas de esta institución, obteniendo resultados satisfactorios en la aplicación de esta metodología.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, por su parte, ha convocado un comité técnico para desarrollar la Norma Técnica de modelo BIM, la cual busca determinar las condiciones mínimas que se deben solicitar por parte de las instituciones públicas cuando éstas requieren hacer proyectos usando BIM. Este comité está conformado por profesionales representantes de entidades públicas, instituciones privadas y reconocidas universidades públicas y privadas.

El Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) ha establecido el Plan BIM – PERÚ, el cual tiene como objetivo principal contar con elementos técnicos necesarios para la toma de decisiones, respecto al uso de metodologías colaborativas de modelamiento digital de la información, aplicables a las fases de Formulación y Evaluación, Ejecución y Funcionamiento de la inversión en infraestructura pública. Para esto se busca convertir el Plan BIM – PERÚ en una hoja de ruta que establezca el plan de acción que se debe seguir, definir indicadores con los que se medirá el avance debido a la aplicación de BIM y construir una línea base sobre la cual se medirán los indicadores mencionados [37].

5. PROPUESTA DE APLICACIÓN BIM PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN PÚBLICOS

Debido a que la implementación en BIM es gradual, como se ha venido dando en otros países, se presentan dos escenarios de aplicación posteriores a la culminación de los estudios de pre-inversión y en una primera fase consideraremos a las obras de edificaciones especialmente (pero sin ser excluyentes) para luego dar lugar a la aplicación de BIM en los proyectos viales a infraestructura en general.

El primer escenario se da para los proyectos que se encuentran en proceso de adjudicación de la construcción, en la que el expediente técnico ya ha sido elaborado con planos en 2D y se encuentra aprobado por las entidades competentes; el segundo escenario, y en el que se aprovechará la mayor potencialidad de BIM, es para los proyectos que se encuentran en proceso de adjudicación del diseño (elaboración del expediente técnico). Además, en estas propuestas no se pretende limitar a ciertos usos BIM, por lo

que se presentarán los usos BIM que como mínimo deben ser aplicados en cada escenario para evitar los errores comunes que ocurren en proyectos públicos peruanos.

5.1 PROPUESTA DE APLICACIÓN BIM A LOS PROYECTOS PÚBLICOS PERUANOS PARA CONSTRUCCIÓN

En este escenario los postores son contratistas generales de obras públicas y lo que se busca como objetivo con el uso de BIM es que no se generen adicionales ni ampliaciones de plazo por causa del expediente técnico. Lo que sucede con frecuencia es que conforme avanza la obra, el contratista va generando requerimientos de información (RDI), que de no ser abordados oportunamente se corre el riesgo que se generen paralizaciones de obra con la consecuente ampliación de plazo o que se ejecuten retrabajos que conllevan a los adicionales de obra. Para evitar ello, se plantea que el cliente (entidad pública) tenga claro lo que va a requerir para el proyecto específico y consigne en los términos de referencia (tdr) la obligatoriedad de la realización de las siguientes actividades por parte de los postores:

- ◆ Presentación de un plan BIM o BEP (BIM Execution Plan) en que se tenga establecido todo lo que el contratista realizará respecto a la aplicación de BIM para alcanzar los objetivos en el proyecto en específico en la construcción, como lo son los niveles de desarrollo (LOD) a los que se modelarán los elementos, cronogramas de sesiones ICE, etc. Inclusive, debe existir una primera versión se los BEP al momento de presentar la propuesta y otro BEP, con más información, al haber sido escogido como ganador del proyecto.
- ◆ Generación de modelos BIM-3D de todas las especialidades en base a los planos entregados al momento de licitar la obra pública y en un LOD establecido por el cliente previamente.
- ◆ Desarrollo de sesiones ICE donde se solicite la presencia de personal del o de los diseñadores (proyectistas), de la entidad y del área usuaria para salvaguardar los objetivos del proyecto. Cabe mencionar que en el desarrollo de estas sesiones ICE se puede incluir la participación de otros proveedores por parte del contratista general, ya que habrá decisiones que deben tomarse con más involucrados que los mencionados en este apartado.
- ◆ Generación de modelos BIM-4D que permitan entender la secuencia constructiva según los modelos BIM-3D desarrollados previamente y el cronograma entregado dentro del expediente técnico de licitación.
- ◆ Subsanación de los “errores” encontrados previamente gracias a la aplicación de BIM según la información del expediente técnico entregado para la licitación.
- ◆ Confirmación del costo y plazo (teniendo como referencia

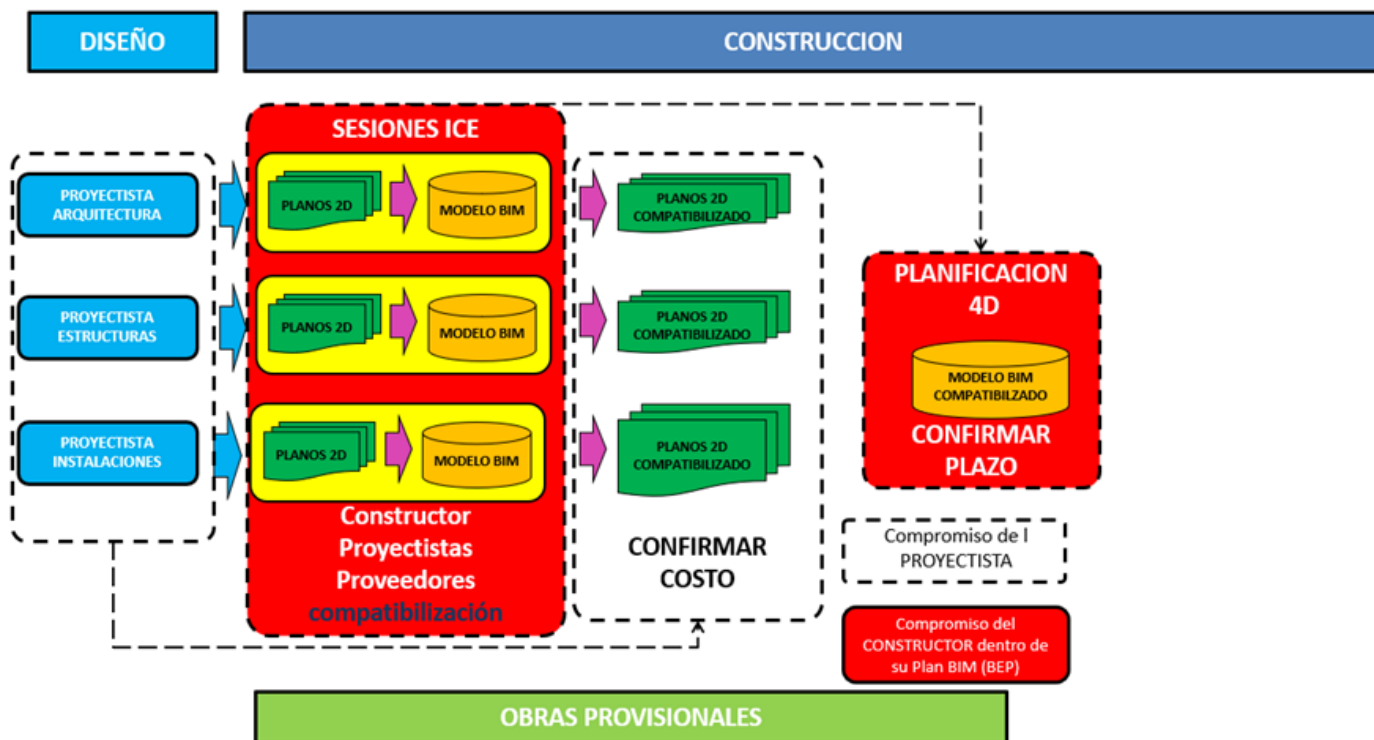


Ilustración 2: Propuesta de aplicación BIM para la construcción de proyectos públicos. Elaboración propia

el mismo alcance con el que se desarrolló el expediente técnico entregado para licitación) en base a la subsanación de los errores encontrados que han dado a la creación de un proyecto “verificado” en presupuesto y cronograma gracias a la aplicación de BIM. Un esquema de la propuesta descrita se encuentra en la ilustración 2.

Estas actividades deberían incluirse por los postores en los cronogramas entregados al momento de ofertar por el proyecto para construir y pueden hacerse en paralelo con el desarrollo de las obras provisionales de la obra a realizar.

No obstante, esta propuesta se entiende como una “verificación” por medio de BIM con la información entregada en un inicio, la cual es muy probable que tenga errores que solamente con los modelos BIM se pueden ver. Por ello, para no generar una “verificación” adicional por medio de los modelos en una etapa tardía como lo es la construcción, se presentará una propuesta en el escenario del diseño de proyectos públicos.

5.2 PROPUESTA DE APLICACIÓN BIM A LOS PROYECTOS PÚBLICOS PERUANOS PARA DISEÑO

Este escenario está dirigido a los postores para el diseño de proyectos de edificaciones. Se requiere de un equipo de trabajo con experiencia en gestión BIM en la que se tenga claro que una gestión BIM nos permitirá una adecuada toma de decisiones desde etapas tempranas.

En este sentido, se debe tener claro que el objetivo de la aplicación de BIM en esta etapa es el aseguramiento de que el plazo y el costo sean fidedignos y correspondan al alcance definido por el cliente (entidad pública) para luego poder

licitar la obra pública correspondiente al expediente técnico que será ejecutado en esta etapa con la aplicación de BIM. Para ello, se deben incluir las siguientes actividades en los términos de referencia (tdr) de licitación de diseño (desarrollo de expediente técnico):

- ♦ Presentación de un plan BIM o BEP (BIM Execution Plan) en que se tenga establecido todo lo que el contratista realizará respecto a la aplicación de BIM para alcanzar los objetivos en el proyecto en específico en el diseño, como lo son los niveles de desarrollo (LOD) a los que se modelarán los elementos, cronogramas de sesiones ICE, etc. Inclusive, debe existir una primera versión de los BEP al momento de presentar la propuesta y otro BEP, con más información, al haber sido escogido como ganador del proyecto.
- ♦ Presentación de estrategias para el mapeo de procesos de todos los involucrados que deberá realizarse al inicio del plazo contractual con la finalidad de alinear criterios para obtener las diferentes propuestas y elegir la más conveniente para el diseño del proyecto.
- ♦ Designación del equipo de gestión BIM, profesionales con experiencia en gestionar proyectos usando BIM, responsables de llevar a cabo el plan de ejecución BIM y ejecutarlo a tiempo.
- ♦ Elaboración, a través de un trabajo colaborativo, un modelo BIM-3D con información de las propuestas de las distintas disciplinas, con los LOD a ser establecido por la entidad, con la finalidad de visualizar el proyecto, compatibilizarlo y brindar propuestas de mejora para optimizar los recursos tanto en diseño como en construcción.

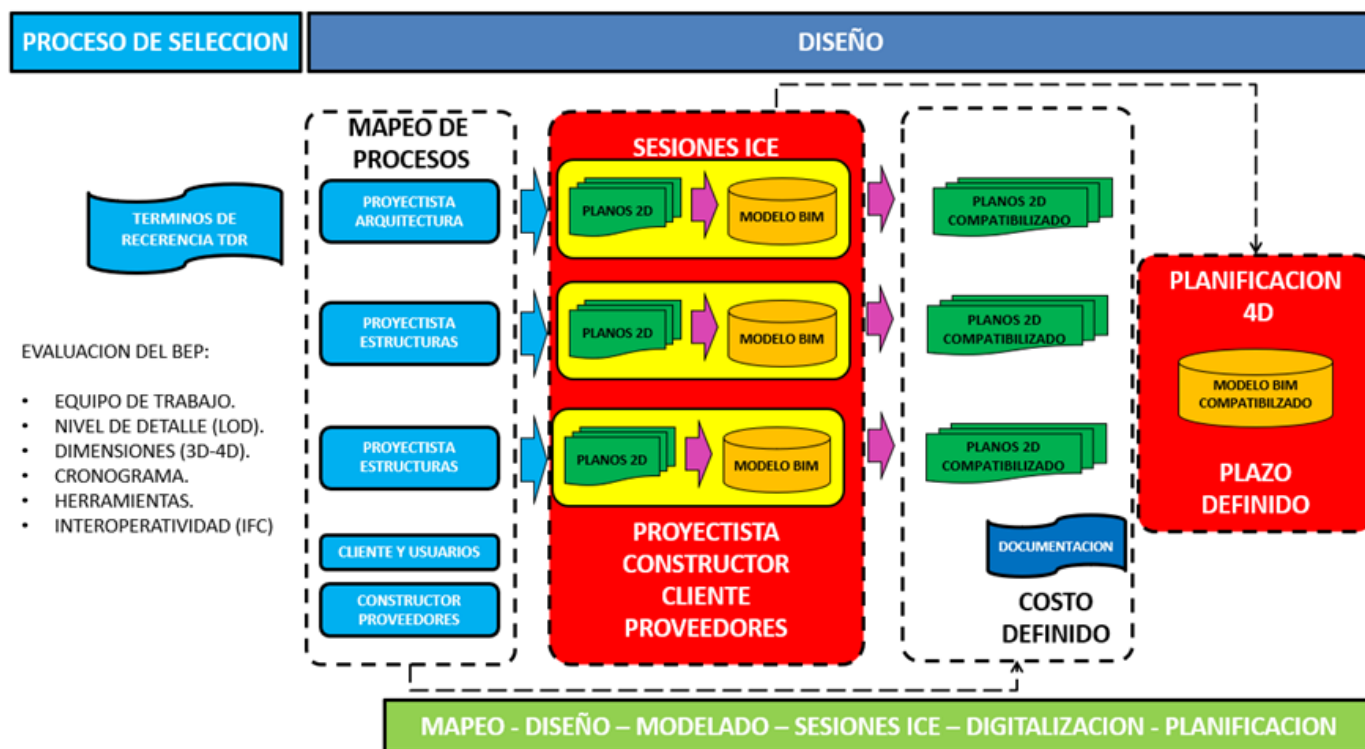


Ilustración 3: Propuesta de aplicación BIM para el diseño de proyectos públicos. Elaboración propia

- ♦ Generación de planos y cuantificaciones de las partidas más incidentes en base a los modelos BIM desarrollados.
- ♦ Elaboración, por medio de trabajo colaborativo, un modelo BIM-4D con información de los modelos BIM-3D desarrollados previamente y con los cronogramas desarrollados. En esta actividad se verificará la secuencia constructiva y se tiene la oportunidad de mejorarla en conjunto con los diseños de cada disciplina pues se sigue estando en la etapa de diseño.
- ♦ Definición de costo y plazo (bajo el alcance establecido previamente por la entidad) con los modelos BIM-3D y BIM-4D teniendo menos probabilidades que la información obtenida a partir de la aplicación de BIM cambie al ser ejecutada la obra pública correspondiente a este expediente técnico desarrollado. Un esquema de la propuesta descrita se encuentra en la ilustración 3.

Al igual que en la construcción, estas actividades deberían incluirse por los postores en los cronogramas entregados al momento de ofertar por el proyecto para diseñar y generará que los plazos de diseño se extiendan, por lo que la entidad debe tener en cuenta esto al abrir estos procedimientos de licitación de diseño.

Además, el aplicar BIM desde el desarrollo del diseño implica mucho más conocimiento de los procesos BIM, por lo que se considera necesario contar con un equipo BIM que sepa la gestión de los proyectos con esta herramienta tanto del lado del contratista o equipo proyectista como por el lado de la entidad que genere estos requerimientos.

Adicionalmente, se debe entender que luego del desarrollo

del diseño con BIM, se debe propiciar que la obra sea controlada con estas herramientas, pero ya no habría la necesidad de modelar nuevamente el proyecto, pues ya sería entregado como modelo BIM.

6. CONCLUSIONES

Existe mucha literatura sobre la aplicación de BIM a nivel de sector público de las regiones de Europa, Asia-Australia y América del norte; no obstante, poco se ha recopilado sobre la aplicación de BIM en el resto de América y en África. Esto expone la necesidad de generar literatura académica sobre la aplicación de BIM en los países que conforman estas regiones para así tener una idea global del estado de la implementación BIM y cómo ésta ayuda a la mejora de la competitividad de cada Estado.

Además, con la recopilación y generación de literatura se puede impulsar la adopción de modelos ya desarrollados por países líderes en implementación BIM, como lo son el Reino Unido, Estados Unidos de América y Singapur, para modificarlos según el contexto de cada país que aún no cuenta con un “plan a nivel de gobierno” y así promover que se use BIM en sus proyectos de infraestructura.

Brasil y Chile son los países de América del Sur que están más avanzados en lo que respecta a implementación BIM desde el sector público y esto se ve reflejado en el crecimiento que éstos comparados con los otros países de la región.

En Argentina se tiene un estándar BIM que ha sido promovido desde el sector privado, pero con la participación del sector público, por lo que no se le da igual posición que a los dos

países mencionados anteriormente.

En lo que respecta a los otros países, muchos tienen iniciativas individuales desde el sector privado por promover el uso de BIM en sus proyectos por medio de conferencias o casos de estudio, pero no se han concretado documentos que reflejen trabajo colaborativo.

En el caso de Perú se ve un interés ascendente por parte de las instituciones públicas en usar las aplicaciones BIM para evitar los errores típicos (adicionales de obra, extensiones de plazos de entrega) de proyectos públicos y también para evitar actos de corrupción en estas obras, los que son consecuencia directa de la falta de transparencia en el desarrollo de estos proyectos. Inclusive, el Ministerio de Economía y Finanzas ya ha mostrado su interés al desarrollar el Plan-BIM Perú para promover su aplicación y establecer una hoja de ruta con la que se espera tener un compromiso mayor en la adopción BIM por parte del Estado.

Las propuestas de aplicación BIM en proyectos públicos peruanos contempla los escenarios de construcción y de diseño, teniendo en cuenta que es el último escenario el que se debe intentar que siempre ocurra, entendiendo que en el primer caso se usaría BIM para “encontrar los errores” debido a la generación de un expediente técnico sin BIM y en el segundo caso se usará BIM desde etapas tempranas para no generar retrabajos y entregar un expediente técnico listo para construir sin cambios sustanciales.

Además, en las propuestas BIM se observan sesiones de trabajo ICE, que es donde se verá la potencia de BIM para resolver problemas o definir propuestas en los proyectos donde se aplique. Si bien es cierto, la aplicación de BIM debe ser gradual, es necesario contar con profesionales capacitados en las instituciones públicas que desarrollen términos de referencia que permitan y promuevan una correcta aplicación de BIM en alguna de las dos etapas presentadas como propuesta en el presente artículo.

Finalmente, se sabe que espera un largo camino para mejorar la industria de la construcción en Perú y más que una decisión el usar BIM o no en nuestro medio, ya es una obligación que viene siendo descrita por su aplicación en otros países y las mejoras que éstos alcanzan en lo que respecta a la gerencia de sus infraestructuras gracias a BIM.

7. REFERENCIAS

- [1] R. Arnao Rondán, La eficiencia en la gestión pública: "El caso de la gestión de inversión pública local en el Perú". Lima: Serie de investigaciones 6: Universidad Católica Sedes Sapientiae, 2011.
- [2] J. L. Bonifaz, R. Urrunaga, J. Aguirre, and C. Urquino, Un plan para salir de la pobreza: Plan Nacional de Infraestructura 2016 - 2025, Asociación. Lima: Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional (AFIN), 2015.
- [3] C. P. Vargas, "Infraestructura y pobreza en el Perú," in Inversion en infraestructura pública y reducción de la pobreza en américa latina, Lima: KONRAD ADENAUER STIFTUNG, 2011.
- [4] H. Lindblad, T. K. Gustavsson, and K. Gustavsson, "Receptiveness for Change : the Case of a Public Client," no. September, pp. 64–72, 2017.
- [5] P. Teicholz, P.M. Goodrum, & C.T. Haas, US construction labor productivity trends, 1970-1998. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127 (5), p.p. 427-429, 2001.
- [6] R. Eyzaguirre, "Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales BIM 4D durante la etapa de planificación", Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú 2015.
- [7] M. G. INSTITUTE, "MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report," no. February, 2017.
- [8] National Institute of Building Sciences, "National BIM Guide for Owners," Washington, DC 20005, 2017.
- [9] J. Kunz and M. Fischer, "Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions," CIFE Work. Pap., vol. 97, no. Version14, p. 50, 2012.
- [10] A. I. of A. (AIA), "AIA Document E202 TM – 2008," *Build. Inf. Model. Protoc. Exhib.*, no. 10, pp. 1–9, 2008.
- [11] BIMForum, Level of Development Specification Version:2016 For Building Information Models, The Associ. Arlington, VA 22201, 2016.
- [12] M. Laakso and A. Kiviniemi, "The IFC standard : A review of History , development , and standardization , *Information Technology , ITcon*, vol. 17, pp. 134–161, 2012.
- [13] H.J. de Vries, IT standars Typology. In: Jakobs K. (Ed.) *Advances Topics in In-formation Technology Standards and Standarization Research Volume 1*, Hershey, PA, USA, Idea Group Publishing, p.p. 11-36, 2005.
- [14] M. Cousins (15 de febrero del 2018). *Process Mapping Techniques: 6 Methods to Create Process Maps*. TRIASTER BLOG. [En línea] Recuperado de <https://blog.triaster.co.uk/blog/process-mapping-techniques-methods-to-create-process-maps>
- [15] W. Oliveira (28 de junio del 2017). ¿Qué es el mapeo de procesos? Conozca los beneficios. HEFLO BLOG. [En línea] Recuperado de <https://www.heflo.com/es/blog/mapeo-procesos/que-es-el-mapeo-de-procesos/>
- [16] J. Kunz, "Integrated Concurrent Engineering" Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) of Stanford University, California, 2013.
- [17] J. C. P. Cheng and Q. Lu, "A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 20, pp. 442–478, 2015.
- [18] U.S. General Services Administration, "GSA Building Information Modeling Guide Series 01 – Overview version 0.6," Washington, DC 20405, 2007.
- [19] D. Philip, "BIM : The UK Government Strategy," *Bips Konf.* 2012, 2012.
- [20] M. (URS) Lorimer, John (Manchester CC) & Bew, "A Report for the Government Construction Client Group – BIM working strategy Client Group," London, 2011.
- [21] J. Das, L.E. Leng, P. Lee, & T.C. Kiat, "Building BIM capacity, Build Smart - The BIM Issue". Issue 09 ed. MND Complex Singapore 069110: Building and Construction Authority, 2011.
- [22] L. Siew Wah, "The Singapore BIM Roadmap," in *Government BIM Symposium 2014*, 2014, no. October.
- [23] BIM Forum Argentina (s.f.). ¿Quiénes somos? BIM FORUM ARGENTINA. [En línea] Recuperado de: <http://www.bimforum.org.ar/quienes-somos>
- [24] BIM Forum Argentina, "ESTÁNDAR BIM ARGENTINA", Versión N° 1.0, Noviembre de 2017.
- [25] BIM Community (29 de diciembre del 2017). "Argentina apuesta por el BIM". BIM Community. [En línea] Recuperado de: <https://www.bimcommunity.com/news/load/564/argentina-bets-on-bim>

- [26] Agencia Brasileira de Desarrollo Industrial (ABDI) (s.f.). "Biblioteca Nacional BIM (BNBIM)". Plataforma BIM BR. [En línea] Recuperado de: <https://plataformabimbr.abdi.com.br/bimBr/#/conteudo/62>
- [27] Ministerio de Industria, Comercio exterior y Servicio (MDIC), "Estrategia BIM Brasil", 16 de mayo del 2018.
- [28] M. Loyola, "An evaluation of the macro-scale adoption of Building Information Modeling in Chile: 2013-2016", Revista de la Construcción. Journal of Construction, vol 17, No 1, pp. 158-171, Abril 2018
- [29] Corporación del Fomento de la Producción (CORFO) (s.f.). "Planbim: metodologías y tecnologías para una construcción colaborativa". Planbim. [En línea] Recuperado de: <https://planbim.cl/que-es-planbim/>
- [30] Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado, "Contratación de obras públicas". Subdirección de Desarrollo de Capacidades, Lima, 2013.
- [31] Ministerio de Economía y Finanzas, "El nuevo sistema de inversión pública". Lima: Ministerio de Economía y Finanzas, 2017.
- [32] Ministerio de economía y finanzas, decreto supremo n° 027-2017-ef. Aprueban el reglamento del decreto legislativo n° 1252, decreto legislativo que crea el sistema nacional de programación multianual y gestión de inversiones y deroga la ley n° 27293, ley del sistema nacional de inversión pública. Lima, 23 de diciembre del 2017.
- [33] Ministerio de Economía y Finanzas, Ley N° 30225. Ley de contrataciones del estado. Lima, 11 de julio del 2014
- [34] Ministerio de economía y finanzas, decreto supremo n° 350-2015-ef. Aprueban reglamento de la ley n° 30225, ley de contrataciones del estado. Lima, 10 de diciembre del 2015.
- [35] Asociación Nacional Invierte Perú, "Inversión Pública en Salud". Revista ANIP (1). pp. 23-28, 2017.
- [36] G. Prado, "Determinación de los usos BIM que satisfacen los principios valorados en proyectos públicos de construcción", Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú 2018.
- [37] Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) (s.f.). "Estrategia BIM Perú". [En línea] Recuperado de: <https://www.mef.gob.pe/es/estrategia-bim-peru>

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

An improvement in construction planning: Last Planner System ®

Una mejora en la planificación de la construcción: el sistema del último planificador

MIGUEL ÁNGEL ÁLVAREZ PÉREZ

Architect, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. maalv@arquitectura.com

MANUEL SOLER SEVERINO

Arquitecto, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. manueljose.soler@upm.es

EUGENIO PELLICER ARMIÑANA

Civil engineer, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universitat Politècnica de València. pellicer@upv.es

For approximately five years, the Last Planner System ® has been used more and more in Spain, due to the improvement that its use produces in the productivity of the construction, reaching, with its use, better results in the achievement of the objectives of: Cost, time and quality of the projects. But still it is necessary its knowledge and diffusion so the application of this System will be normal in all our works. It was Professors Glenn Ballard and Greg Howell of the University of Berkeley in California, United States, who in the early 90s of the last Century investigated a form of planning of the work that, within the Lean Construction philosophy, were more appropriate with the special characteristics of the construction process. Lean Construction contributes with numerous associate techniques to improve the constructive process, and one of them is Last Planner System ®. In this paper we will do a quick revision of the state of art related with Planification Methodologies which have been used in construction during last and present centuries, to conclude that Last Planner System ® represents a considerable improvement in relation with previous Systems. It is an opinion and reveal paper to promote the knowledge and use of this System in Spanish Construction with greatest interest.

Planning; Last Planner System ®.

Desde hace aproximadamente cinco años, se está utilizando cada vez más en España el Sistema del Último Planificador (Last Planner System ®), debido a la mejora que su utilización produce en la productividad de la construcción, alcanzándose, con su uso, mejores resultados en la consecución de los objetivos de: Coste, plazo y calidad de los proyectos. Pero aún es necesario su conocimiento y difusión para que la aplicación de este Sistema se extienda a todas nuestras obras. Fueron los Profesores Glenn Ballard y Greg Howell de la Universidad de Berkeley en California, Estados Unidos, quienes a principios de los años 90 del pasado Siglo investigaron sobre una forma de planificación de obra que, dentro de la filosofía Lean Construction, fuera más acorde con las especiales características del proceso constructivo. La Construcción sin Pérdidas (Lean Construction) aporta numerosas técnicas asociadas para mejorar el proceso constructivo, y una de ellas es el Sistema del Último Planificador. En este artículo haremos una rápida revisión del estado del arte en cuanto a Métodos de Planificación que se han usado en construcción en el pasado Siglo y en el presente, para concluir que el Sistema del Último Planificador representa una mejora considerable con respecto a los anteriores Sistemas. Se trata de un artículo de opinión y divulgación para fomentar el conocimiento y uso de este Sistema en la construcción española con mayor intensidad.

Planificación; Sistema del Último Planificador; Last Planner System ®.

1. EL NACIMIENTO DE LAST PLANNER SYSTEM ®

Tras los estudios, antes mencionados de los Profesores Glenn Ballard y Greg Howell de la Universidad de Berkeley en California, Estados Unidos, en los años 90 del pasado Siglo, y de su conocimiento del Profesor Lauri Koskela, de la Universidad de Helsinki, Finlandia, estos trabajos se formalizaron en artículos científicos dentro del Lean Construction Institute, que fundaron conjuntamente.

1. THE BIRTH OF LAST PLANNER SYSTEM ®

After the studies by Professors Glenn Ballard and Greg Howell of the University of California at Berkeley, United States in the 90s of the last Century, and their knowledge of Professor Lauri Koskela, of the University of Helsinki, Finland, these works were formalized in scientific articles within the Lean Construction Institute, which they founded together.

En el año 2000, el Profesor Glenn Ballard presentó su Tesis Doctoral en la Universidad de Birmingham (Reino Unido), titulada: "The Last Planner System of Production Control" (El Sistema del Último Planificador de Control de la Producción), en la que da forma definitiva a la metodología, con muchos puntos en común con el Ciclo de Deming: Plan, Do, Check, Act (PDCA) o Planificar, Hacer, Comprobar y Actuar. (Figura 1).

"La planificación de la Producción en general consiste en:

- Establecer metas y objetivos
- Estimar los recursos necesarios para alcanzar las metas.
- Establecer un plan para alcanzar las metas de forma eficiente y a tiempo.
- Prever las etapas de producción.
- Prever los problemas que pueden surgir en el proceso.
- Aplicar medidas correctivas.
- ¿Qué, cuando, cuánto y cómo producir?"

(Ponz Tienda, 2017)

La planificación en construcción siempre se había llevado a cabo, hasta la aparición del Last Planner System (LPS) ©, básicamente siguiendo el Diagrama de Gantt, y más desde la aparición y uso de los Programas Informáticos Microsoft Project y Primavera, y aún hoy se sigue haciendo de esta forma en la mayoría de los casos, pero Last Planner System © venía a establecer una forma nueva y más eficaz de planificación en la construcción.

In 2000, Professor Glenn Ballard presented his Doctoral Thesis at the University of Birmingham (United Kingdom), entitled: "The Last Planner System of Production Control" [1], in which he gives definitive form to the methodology. That has many points in common with the Deming Cycle: Plan, Do, Check, Act (PDCA) [2], (Figure 1).

"Production planning in general consists of:

- Set goals and objectives
- Estimate the resources necessary to achieve the goals.
- Establish a plan to achieve the goals efficiently and on time.
- Forecast the stages of production.
- Anticipate the problems that may arise in the process.
- Apply corrective measures.
- What, when, how much and how to produce? "

(Ponz Tienda, J.L., 2017)

Planning in construction had always been carried out until the appearance of the Last Planner System (LPS) © basically following the Gantt Chart, and even more since the appearance and use of Microsoft Project and Primavera Computer Programs, even today it continues to be this way in most cases, but Last Planner System © came to establish a new and more efficient way of planning in construction.



Fig. 1: Ciclo de Deming, Fuente Milagros Espinosa, Universidad Yacambú, 2013

2. EL DIAGRAMA DE GANTT

El Diagrama de Gantt en construcción presenta varios problemas:

- No pone de manifiesto la interdependencia de varias actividades.
- Es difícil definir exactamente el trabajo que debe realizarse en un instante preciso.
- Es difícil determinar el progreso de un proyecto cuando una barra representa un largo periodo de tiempo. No tiene relación con la situación física de los trabajos en la obra.
- El hecho de que existan actividades programadas en tiempos solapados o simultáneos no indica necesariamente que estén relacionadas o sean interdependientes.
- El Diagrama se complica mucho y hace muy difícil su aprehensión cuando las tareas comienzan a dividirse en subtareas.
- Normalmente se redacta sin la participación de las subcontratas o trabajadores que van a ejecutar los trabajos, por lo que es más un deseo, que algo que represente realmente como se va a desarrollar la obra.

Los profesionales con experiencia en gestionar procesos de obra son conscientes de que el Diagrama de Gantt, teniendo en cuenta la variabilidad que hay en el proceso constructivo, tiene que estar en una constante reprogramación y adaptación a medida que avanzan los trabajos, y que esto, con las urgencias que siempre hay por terminar, suele derivar en su abandono.

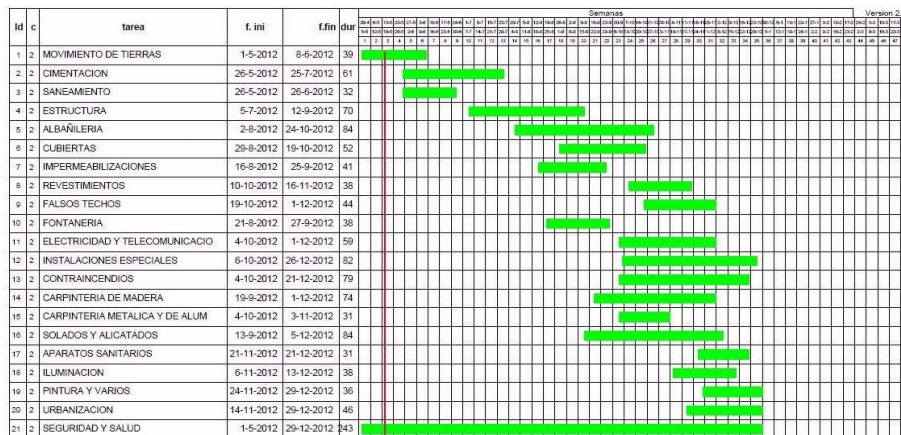


Fig.2: Diagrama de Gantt de una Obra. Fuente Konstruir.com, 2008

3. EL MÉTODO DE LÍNEAS DE BALANCE

Existen otros métodos de planificación de la construcción, que resuelven algunos de los problemas del Diagrama de Gantt, por ejemplo, el denominado de Líneas de Balance, (LdB) que fueron utilizadas por primera vez en Estados Unidos en los años 30 del Siglo pasado y en particular, con buenos resultados, en la construcción del Empire State Building, que en plena depresión económica tras el Crack de la Bolsa de 1929, fue construido en 11 meses, inaugurado en 1931, y

2. THE GANTT CHART

The Gantt Diagram under construction presents several problems:

- It does not reveal the interdependence of several activities.
- It is difficult to define exactly the work that must be done at a precise moment.
- It is difficult to determine the progress of a project when a bar represents a long period of time. It has no relation with the physical situation of the tasks in the work.
- The fact that there are activities scheduled in overlapping or simultaneous times does not necessarily indicate that they are related or interdependent.
- The Diagram becomes very complicated and makes it very difficult to grasp when the tasks begin to be divided into subtasks.
- Normally it is written without the participation of the companies or workers that are going to execute the works, so it is more a wish, than something that really represents how the work will be developed.

Those who have site management experience, know well that the Gantt Diagram (Figure 2), considering the variability that there is in the construction process, must be in constant reprogramming and adaptation as the work progresses, and that this, with the urgencies that always there is to advance, usually derives in its abandonment.

3. THE LINES OF BALANCE METHOD

There are other methods of construction planning, which solve some of the problems of the Gantt Chart, for example, the so-called Lines of Balance, (LoB) that were used for the first time in the United States in the 30s of the last century and in particular, with good results, in the construction of the Empire State Building [9], which in a full economic depression after the Crack of the Stock Exchange of 1929, was built in 11 months, inaugurated in 1931, and has a constructed area of 250,000

tiene una superficie construida de 250.000 m². en 102 plantas (Willis, 2012).

Las LdB son un método de planificación de la construcción que introduce un factor fundamental a la hora de controlar la obra, y conocer su estado en cada momento, que es el emplazamiento de la tarea [2]. Según el Diagrama de Gantt, dentro del Plano Cartesiano, estamos acostumbrados a que las abscisas sean los tiempos y las ordenadas las tareas, el desarrollo de estas se representa mediante barras horizontales.

En el método de LdB el eje de las abscisas sigue siendo el tiempo, pero el eje de las ordenadas representa el emplazamiento, con lo que las tareas y su evolución se representan mediante líneas inclinadas, que al observarlas sí que nos dan información sobre en qué punto se encuentra la obra y su grado de desarrollo, así como su velocidad de ejecución. Cuando las líneas tienen mayor inclinación la actividad va más lenta y al revés (Figura 3).

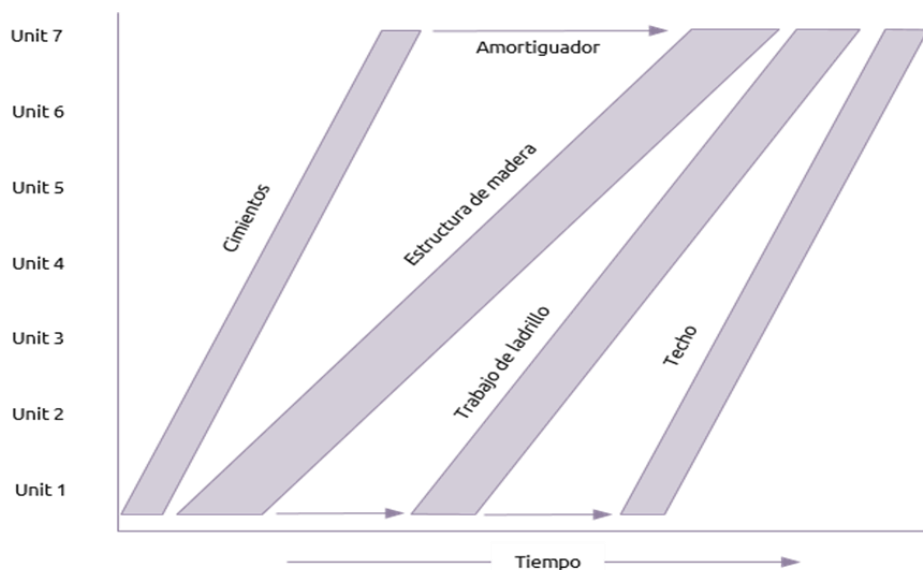


Fig.3: Diagrama de Líneas de Balance (Fuente: Blog Praxis Framework Limited, 2015) / Lines of Diagram (Source: Blog Praxis Framework Limited, 2015)

Es un sistema de planificación lineal que permite ordenar las actividades para que sean ejecutadas de forma continua, incluso aunque el trabajo de cada una de ellas se esté desarrollando en diferentes zonas de la obra, como por ejemplo distintas plantas.

Teniendo en cuenta el principio de eliminar la variabilidad en la producción del Toyota Production System (TPS), recordemos: "Es mejor producir como la tortuga que como la liebre" (Ohno, 1995), trasladado a las Líneas de Balance, lo ideal es que estas vayan en paralelo, ya que esto significaría que todas las subcontratas están trabajando al mismo ritmo, y por tanto estaríamos eliminando la variabilidad [7].

4. EL MÉTODO PERT

Otros métodos utilizados son los probabilísticos, como el Método PERT (Program Evaluation and Review Technique),

m². in 102 plants (Willis, 2012).

The LoB is a construction planning method that introduces a fundamental factor when controlling the work, and knowing its status always, which is the site of the task [2].

According to the Gantt Diagram, within the Cartesian Plane, we are accustomed to the abscissa being the times and the ordinates tasks, the development of these is represented by horizontal bars.

In the LoB method the abscissa axis is still the time, but the axis of the ordinates represents the location, with which the tasks and their evolution are represented by inclined lines, by observing them do give us information about at what point is the work and its degree of development, as well as its speed of execution. When the lines have greater inclination, the activity goes slower and vice versa (Figure 3).

It is a linear planning system that allows ordering the activities so that they are executed continuously, even though the work of each of them is being developed in different areas of the work, such as different plants.

Bearing in mind the principle of eliminating the variability in the production of the Toyota Production System (TPS), remember: "It is better to produce like the turtle than the hare" (Ohno, 1995), transferred to the Lines of Balance, the ideal is that they go in parallel, since this would mean that all subcontractors are working at the same pace, and therefore we would be eliminating the variability [7].

4. THE PERT METHOD

Other methods used are probabilistic, such as the PERT Method (Program Evaluation and Review Technique), created by the United States Navy in 1957 for the POLARIS program.

creado por la Armada de Estados Unidos en el año 1957 para el programa POLARIS.

PERT se vale de datos estadísticos para conducirnos a datos probables, la información que nos da está en función de probabilidades y se basa en el conocimiento de situaciones similares anteriores y sus resultados.

Estima la duración de las actividades partiendo de tres escenarios: Óptimo, más probable y pésimo, y a partir de esto deduce la desviación típica, considera los riesgos de esta desviación y los clasifica en aceptables o no, estudia las actividades en función de si son precedentes, sucesorias o ficticias y finalmente obtiene un Camino Crítico de duración total, con un grado de probabilidad de que ocurra (Figura 4).

Se centra especialmente en el tiempo y es posible que para mejorar la duración de una actividad tenga que emplear recursos excesivos y poco rentables, algo que parte de la aceptación o no de los riesgos de cumplimiento del plazo. Por tanto, es un método estocástico, es decir admite una cierta aleatoriedad en su cálculo.

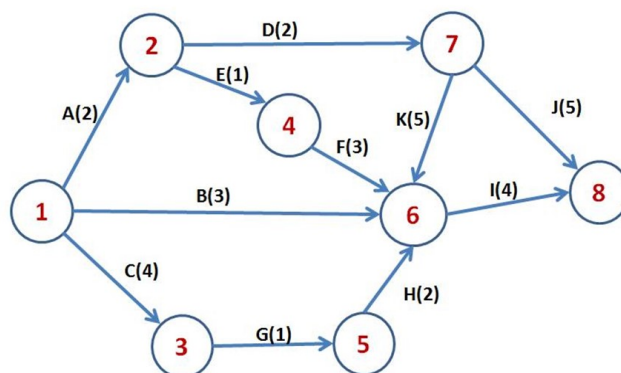


Fig.4: Diagrama PERT (Fuente: Blog Sinnaps, 2018) / PERT diagram (Source: Blog Sinnaps, 2018)

Teniendo en cuenta las especiales características de la construcción: Cada obra es diferente, cada edificio se erige en una situación determinada, en la ejecución intervienen trabajadores procedentes de distintas subcontratas, le influyen muchos factores impredecibles como por ejemplo la climatología, etc.

Un método estocástico como el PERT no es adecuado para nuestro sector, por la dificultad de poder encontrar estadísticas suficientes, con estimaciones fiables de duración de las actividades y por la variabilidad que determina la asunción de riesgos y de recursos, en consecuencia, su utilización en construcción es limitada.

5. EL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA

El Método de la Cadena Crítica o CPM (Critical Path Method) es una evolución del PERT más adecuada para la planificación en construcción. Como su propio nombre indica también busca el Camino Crítico, pero asumiendo que en una obra puede haber varios, para elegir el más conveniente, y a diferencia

PERT uses statistical data to lead us to probable data, the information it gives us is based on probabilities and on the knowledge of previous similar situations and their results.

Estimates the duration of the activities based on three scenarios: Optimal, most likely and lousy, and from this deducts the standard deviation, considers the risks of this deviation and classifies them as acceptable or not, studies the activities according to whether they are precedents, successions or fictitious and finally gets a critical path of a total duration, with a degree of probability that it happens (Figure 4).

It focuses especially on time and it is possible that to improve the duration of an activity it must use excessive and unprofitable resources, something that starts from the acceptance or not of the risks of compliance with the term.

Therefore, it is a stochastic method, it admits a certain randomness in its calculation.

Considering the special characteristics of the construction industry: Each work is different, each building is erected in a specific situation, in the intervention are involved workers from different companies (subcontractors), it is influenced by many unpredictable factors such as weather, etc.

A stochastic method like PERT is not adapted for our sector, by the difficulty of being able to find enough statistics, with reliable estimations of duration of the activities and by the variability that determines the assumption of risks and resources, consequently, its use in construction is limited.

5. THE CRITICAL PATH METHOD

The Critical Path Method or CPM is an evolution of the PERT most suitable for planning in construction. As its name indicates, it also searches for the Critical Path, but if there may be several in a work, to choose the most convenient one, and unlike the PERT does not part from statistics but data with a reasonable degree of accuracy, both in terms of times as to the allocation of resources for activities (Figure 5).

del PERT no parte de estadísticas sino de datos con un grado razonable de precisión, tanto en cuanto a los tiempos como a la asignación de recursos para las actividades (Figura 5).

Por tanto, se orienta a las actividades y no a los tiempos, fue creado también en Estados Unidos en el año 1957, paralelamente al PERT, aunque en este caso fueron empresas privadas: Dupont y Remington Rand, las que encargaron el diseño a expertos, la intención era controlar los costos más que el plazo de la producción, y por ello se diseñó de forma más exigente en esa materia.

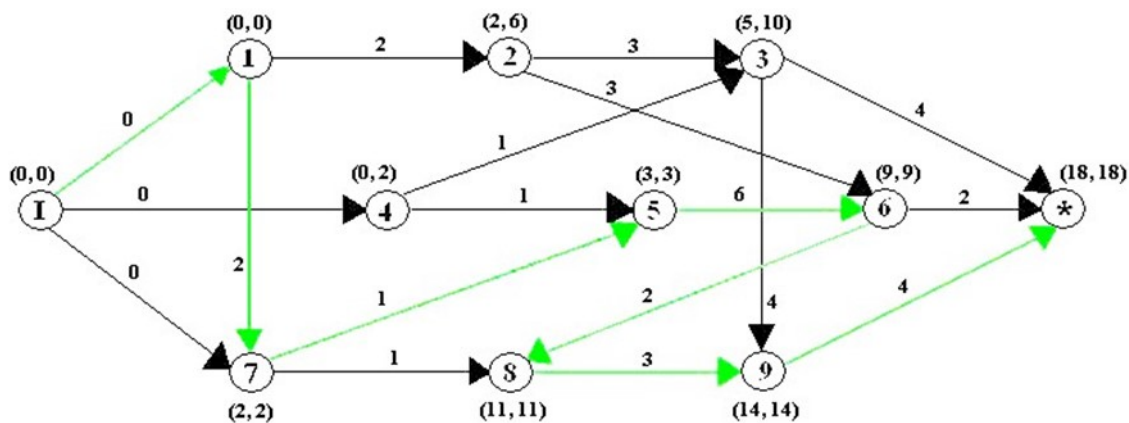


Fig.5: Diagrama CPM (Fuente: Escuela de Organización Industrial, 2013) / CPM diagram (Source: Escuela de Organización Industrial, 2013)

Al utilizar datos determinísticos, nos conduce a resultados ciertos, no probables como el PERT, en consecuencia, es un método no estocástico y por tanto aplicable a la construcción. No obstante, su uso en esta materia también es limitado.

6. EL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR

No obstante, los métodos clásicos de planificación de obras descritos anteriormente son inadecuados para las necesidades actuales, y se producen anomalías en su uso.

“¿Por qué se producen estas anomalías?:

- Se diseñaron hace 70 años con la tecnología de hace 70 años.
- Los algoritmos de cálculo de los grafos están muy relajados.
- No consideran situaciones reales de los proyectos.
- No consideran un enfoque sistémico del proyecto.
- No consideran que los proyectos son sistemas productivos.
- No consideran que los proyectos los hacen personas”

(Ponz Tienda, 2017)

“Hacen falta métodos de análisis de las matemáticas, adaptados para encajar Sistemas que contienen Seres Humanos”

(Goldratt, Eliyahu M. 1997)

Therefore, it is oriented to activities and not to time, it was also created in the United States in 1957, parallel to the PERT, although in this case were private companies: Dupont and Remington Rand, which commissioned the design to experts, the intention was to control the costs more than the term of production, and for that reason it was designed in a more demanding way in that matter.

When using deterministic data, it leads us to certain results, not probable as the PERT, consequently, it is a non-stochastic method and applicable to the construction. However, its use in this matter is limited.

6. THE LAST PLANNER SYSTEM®

However, the classical work planning methods described above are inadequate for current needs and anomalies in their use occur.

“Why do these anomalies occur?

- They were designed 70 years ago with the technology of 70 years ago.
- The graph calculation algorithms are very relaxed.
- They do not consider real situations of the projects.
- They do not consider a systemic approach to the project.
- They do not consider that the projects are productive systems.
- They do not consider that the projects are made by people ”

(Ponz Tienda, J.L., 2017)

“Mathematical analysis methods are needed, adapted to fit Systems containing Human Beings”

(Goldratt, E.M. 1997)

Last Planner System (LPS)®, o el Sistema del Último Planificador, da respuesta a muchos de los problemas que plantean los métodos que hemos descrito anteriormente.

Partiendo de la frase reproducida del Profesor Eliyahu M. Goldratt, LPS deja de pensar en las actividades y se enfoca en las personas. Básicamente parte de afrontar tres cuestiones fundamentales para planificar una obra con éxito:

1.- Variabilidad:

Este principio, consustancial a las obras de construcción, lo afronta mediante la planificación colaborativa, implicando a todos los contratistas y subcontratistas, así como técnicos y demás interesados a participar y aportar su criterio a la hora de elaborar el plan de obra.

2.- Flujo-Transformación:

Identifica las tareas que generan flujo para llegar a la transformación. Mientras las metodologías analizadas anteriormente eran todas del tipo "push" es decir que se planificaba desde el principio hacia el final, veremos que LPS es una planificación tipo "pull", que es coincidente con los principios del TPS, se planifica desde el final hacia el principio.

3.- El principio: Debe, puede, se hará:

Este es otro de los pilares en los que se fundamenta el LPS, en el compromiso de las personas, que son quienes van a realizar el trabajo y que a su vez son los que están planificando, es decir ellos mismos se están comprometiendo con el equipo, a la vez que se hace el plan de obra.

4.- Análisis de Restricciones:

LPS estudia detenidamente cuáles son las limitaciones que existen para poder alcanzar los objetivos (falta de materiales, falta de definición del diseño, falta de mano de obra, etc.) y procede a ejecutar las acciones necesarias para eliminarlas, para que el plan siga adelante. Recordemos, que eliminar el desperdicio es una de las metas fundamentales de Lean Construction.

En base a los principios antes mencionados, el Sistema del Último Planificador se estructura mediante varios escalones:

- La Pull Session:

Es la primera reunión del equipo en la que se hace la planificación con los interesados. Es importante que cuando se haga estén presentes todos los implicados en la obra. Sobre un gran tablero en blanco se sitúan en el eje de abscisas los tiempos, y en otro tablero aparte también en blanco se van a reflejar las restricciones.

Cada una de las actividades de obra que vayan a intervenir tendrá un paquete de post-it o tarjetas adhesivas de diferente color y en cada hoja su responsable apuntará la tarea a la que se refiere, las actividades previas que

Last Planner System (LPS)®, responds to many of the problems posed by the methods described above [4].

Based on the phrase reproduced by Professor Eliyahu M. Goldratt, LPS stops thinking about activities and focuses on people. Basically, part of addressing three fundamental issues to plan a successful work:

1.- Variability:

This principle, inherent to construction works, is addressed through collaborative planning, involving all contractors and subcontractors, as well as technicians and other interested parties, to participate and contribute their criteria when preparing the work plan.

2.- Flow-Transformation:

It identifies the tasks that generate flow to reach the transformation. While the methodologies analysed above were all the "push" type, that it was planned from the beginning towards the end, we will see that LPS is a "pull" type planning, which coincides with the principles of the TPS, it is planned from the end towards the beginning.

3.- The principle: Must, can, will be done:

This is another of the pillars on which the LPS is based, on the commitment of the people, who are the ones who are going to carry out the work and who in turn are the ones who are planning, that is, they are committing themselves with the team, at the same time that the work plan is made.

4.- Analysis of Restrictions:

LPS studies carefully what are the limitations that exist to be able to reach the objectives (lack of materials, lack of definition of the design, lack of manpower, etc.) and proceeds to execute the necessary actions to eliminate them, so that the plan can continue.

Let's remember, that eliminating waste is one of the fundamental goals of Lean Construction.

Based on these principles, the Last Planner System® is structured by several steps:

- The Pull Session:

It is the first meeting of the team in which the planning is done with the interested parties. It is important that all those involved in the work are present when it is done.

On a large white board if you place the times on the abscissa axis, and on another separate board also in white the restrictions will be reflected.

Each one of the work activities that will take part will have a post-it packs or different colour adhesive cards and on each sheet the person in charge will write down the task to which it refers, the previous activities that it needs, the possible duration, and the resources he will use.

necesita, la duración posible, y los recursos que empleará.

Comienza a situarse sobre el tablero en blanco la tarjeta de la última de las tareas previstas, en el extremo derecho de este, que coincidirá con la fecha en la que se quiere terminar la obra. A continuación, se situará a la izquierda de esa tarea la anterior, previendo los tiempos necesarios para ejecutarla, y de este modo se continuará hacia la izquierda, hasta que se llegue a la fecha de comienzo de obra (Figura 6).

Si todo saliera perfectamente habríamos llegado a la fecha exacta, pero, como es lógico, eso no ocurre normalmente (lo habitual es que resulte un plazo mayor). Durante todo el proceso los asistentes pueden opinar sobre si los tiempos que cada uno ha aportado son correctos o no.

Una vez se tiene cerrado el cronograma, se vierte en un programa de planificación como Microsoft Project o Primavera, y se obtiene el Plan Maestro o Master Plan. Este es el momento de ajustarlo para que encaje en las fechas previstas de comienzo y final, así como establecer los hitos o milestones en los que se divide la obra, lo que se hará nuevamente con la intervención de todos, revisando los tiempos. Si una tarea tiene una duración que parece excesiva, se analizará aplicando la técnica de los 5 Porqué, para eliminar pérdidas, mejorando los plazos [7].

Si durante la disposición de las tarjetas que representan las actividades surgen restricciones que dificultarían o impedirían la ejecución de alguna de ellas, se apuntan en el tablero de restricciones, sabiendo que tienen que estar resueltas antes de que se comience a ejecutar la tarea en cuestión, también se apunta quién es el responsable de liberar cada una de ellas.

De esta forma al final tendremos una planificación que ha sido realizada entre todos, y en la que todos se han comprometido, unos con otros, a trabajar dentro de unos márgenes que se han autoimpuesto.

Esta reunión puede tener una duración máxima aproximada de unas dos horas para una obra de tipo medio. Repetimos que es muy importante la asistencia de todos los interesados, y especialmente del Jefe de Obra y de la Dirección Facultativa, para que nadie pueda decir que se han tomado decisiones sin contar con él y que por tanto no se siente obligado por las mismas. La implicación del equipo es necesaria para que funcione adecuadamente. Es conveniente que la sesión sea monitorizada por un facilitador experto en la aplicación de LPS.

- El Look-Ahead:

Tras esta primera sesión, el sistema se revisará periódicamente, en principio al menos en dos escalones: La denominada Planificación Inmediata o Look-Ahead, que será como hacer un zoom del Plan Maestro, normalmente para un

Start to place on the blank board the card of the last of the planned tasks, on the far right of this, which will coincide with the date on which you want to finish the work (Figure 6), then it will be placed to the left of that task the previous, foreseeing the necessary times to execute it, and in this way it will continue to the left, until the start date of the work is reached [6].

If everything went perfectly, we would have arrived at the exact date of the beginning, but of course this does not happen normally (usually it is a longer period), throughout the process attendees can comment on whether the times that each has contributed are correct or do not.

Once the schedule is closed, it is poured into a planning program such as Microsoft Project or Primavera, and the Master Plan is obtained, this is the time to adjust it to fit in the expected start and end dates, as well how to establish the milestones in which the work is divided, which will be done again with the intervention of all, reviewing the times.

If a task has a duration that seems excessive, it will be analysed applying the technique of the 5 Why, to eliminate losses by improving the deadlines [7].

If during the disposition of the cards that represent the activities arise restrictions that would hinder or impede the execution of any of them, they are indicated on the board of restrictions, knowing that they have to be resolved before the task in question begins to be executed, it also points out who is responsible for releasing each of them.

In this way at the end we will have a planning that has been carried out among all, and in which all have committed with each other to work within margins that have been self-imposed.

This meeting can have a maximum duration of approximately two hours for a medium-sized work, we repeat that it is very important the assistance of all stakeholders, and especially the Project Manager, so that no one can say that they have made decisions without him and that therefore he does not feel bound by them. The involvement of the team is necessary for it to function properly. It is convenient that the session be monitored by an expert facilitator in the LPS application.

- The Look-Ahead:

After this first session, the system will be revised periodically, in principle at least in two steps: The so-called Immediate Planning or Look-Ahead, which will be like zooming in on the Master Plan, normally for a period of about six months, or for the term between two work milestones, with an approximate duration of one and a half hours.

And the so-called Weekly Planning, this will be done every week and will last approximately one hour. The purpose of



Fig.6: Pull Session (Fuente: Blog Lean Construction Blog, 2017) / Pull Session (Source: Blog Lean Construction Blog, 2017)

plazo de unos seis meses, o bien para el plazo entre dos hitos de obra, con una duración aproximada de una hora y media. Y la denominada Planificación Semanal, esta se hará todas las semanas y durará aproximadamente una hora. El objeto de ambas será controlar el grado de ejecución de lo planificado y/o realizar los ajustes necesarios.

- Las Reuniones Semanales:

Las revisiones son la aplicación directa del principio del Kaizen, la mejora continua, a lo que nos hemos referido como el principio: Debe, Puede, Se hará.

Las preguntas son:

- ♦ ¿Qué pasó y por qué?
- ♦ ¿Qué se debe hacer?
- ♦ ¿Qué se puede hacer?
- ♦ ¿Qué se hará?

A partir de las respuestas a estas preguntas se establecen los compromisos, las promesas que un industrial hace frente a sus compañeros y que pueden condicionar el trabajo de otros. Se ha comprobado en la práctica que esta forma de proceder funciona, y que nadie quiere llegar a la siguiente reunión sin haber hecho su parte del trabajo. [10].

Estas reuniones semanales a su vez se complementan con breves reuniones diarias al comenzar la jornada, para repasar cuales son los cometidos del día, se suelen denominar Reuniones de Pie o Daily Huddle y no deben durar más de unos quince minutos, se trata de enfocar las tareas inmediatas y descubrir si hay alguna restricción nueva o que ha sido bien establecida en la reunión semanal.

Los resultados y el progreso se miden mediante varias herramientas, de las que destacamos el PPC (Porcentaje de Promesas Cumplidas o Porcentaje del Plan Completado), indicador que mide el grado de compromiso del equipo, y el CNC (Causas de No Cumplimiento), en este caso se analizan los motivos del incumplimiento y se incorporan a las restricciones a eliminar, si es que no lo hubieran estado antes:

both will be to control the degree of execution of the planned and / or make the necessary adjustments.

- The Weekly Meetings:

The revisions are the direct application of the Kaizen principle, continuous improvement, to what we have referred to as the principle: Must, Can, Will be done.

The questions are:

- ♦ What happened and why?
- ♦ What should be done?
- ♦ What can be done?
- ♦ What will be done?

From the answers to these questions are established the commitments, the promises that an industrialist makes in front of his colleagues and that can condition the work of others. It has been proven in practice that this way of proceeding really works, and that nobody wants to get to the next meeting without having done their part of the work [10].

These weekly meetings are complemented by brief daily meetings at the beginning of the day, to review the tasks of the day, are usually called Standing Meetings or Daily Huddle and should not last more than fifteen minutes, it is about focusing the Immediate tasks and find out if there are any new restrictions or that have been well established in the weekly meeting.

The results and progress are measured by several tools, of which we highlight the PPC (Percentage of Promises Fulfilled or Percentage of the Completed Plan), indicator that measures the degree of commitment of the team, and the CNC (Causes of Non-Compliance), in this case, the reasons for the breach are analysed and incorporated into the restrictions to be eliminated, if they had not been before:

PPC = Number of Promises Met Programmed / Number of Promises Scheduled for a given period (for example, a week).

PPC = Nº de Promesas Cumplidas Programadas / Nº de Promesas Programadas para un periodo dado (por ejemplo, una semana).

7. CONCLUSIONES

LPS cómo podemos ver es una Planificación Colaborativa, de la que deriva un compromiso colectivo.

Es fundamental para su aplicación que el equipo entienda que forma parte de un sistema y que el incumplimiento de un compromiso afecta a los demás intervinientes.

El equipo debe entender cuál es el proceso, e involucrarse en él para la mejora del desempeño de cada uno de sus miembros.

La forma de actuar con LPS resuelve, como ningún otro de los Métodos de Planificación mencionados anteriormente, la variabilidad que se da en la construcción, al hacer un seguimiento permanente del desarrollo de la obra, y en consecuencia al adaptarse en cada momento a las circunstancias que se puedan producir, para alcanzar los objetivos establecidos en el punto de partida. El compromiso debe entenderse, por cada miembro del equipo, como algo cuyo cumplimiento no solo beneficia a otros intervinientes sino también a sí mismo y por ende a la obra en su conjunto.

Como en toda la Metodología Lean Construction, para el éxito de la planificación de una obra con LPS, serán esenciales las personas, la fiabilidad del equipo y la eficiencia de sus componentes.

Para su implantación en España es importante que superemos tanto la falta de formación en la materia, como la falta de liderazgo o de compromiso, ya que son factores clave para que se pueda avanzar en ello. Todos los miembros del equipo tienen que sentirse parte de este y colaborar de verdad, y para conseguirlo la información entre todos tiene que ser transparente [11].

La construcción en España es muy ineficaz porque no se colabora de verdad, no se entiende el proceso en su conjunto, no se comprende que cada subcontrata no es una isla, sino un miembro del equipo en el que el éxito es de todos, pero también el fracaso es de todos, independientemente de cada uno haya cumplido bien con su cometido individual.

Un buen resumen esquemático de todo lo dicho es el que los Profesores Glenn Ballard y Gregory Howell, establecieron como principios básicos del Sistema del Último Planificador:

- Estabilizar el flujo de trabajo.
- Reducir la variabilidad del flujo.
- Mejorar el funcionamiento del proceso.

7. CONCLUSIONS

LPS, as we can see, is therefore a Collaborative Planning, from which a collective commitment derives.

It is basic for its application that the team involved understands that is participating in a system and the breach of a compromise affects the rest of the interveners.

The actuation with LPS solves, as any other of the Planification Methods before mentioned could not do, the variability that is always in construction, doing a continuous tracing of the work development, and in consequence adapting the answer to the circumstances that could be produced, for achieving the goals established in the start point of the work. The compromise must be understood by each member of the team as something of his own, which if it is reached not only has benefits for others, but also for himself, and finally for the work as a whole.

As in every Lean Construction Methodology, for the success of the planification with LPS, people will be essential, including the reliability of the team and the efficiency of its components.

For its implementation in Spain it is important to overcome both the lack of training in the subject, as the lack of leadership or commitment, as they are key factors for progress in this, all team members must feel part of this and really collaborate, information among all must be transparent [11].

Construction in Spain is very inefficient because people involved does not collaborate, the process is not understood as a whole, it is not assumed that a subcontract is not an island, but a member of a team, in which the success belongs to everyone, but the failure also belongs to everyone, independently that each one could have done correctly its individual duty.

A schematic resume of all said above is the one that Professors Glenn Ballard and Greg Howell established as the fundamentals of Last Planner System®:

- Stabilize the workflow.
- Reduce flow variability.
- Improve process operation.



Fig.7: Los principios básicos de Last Planner System® (Fuente: Ballard y Howell, 1994) / The basic principles of Last Planner System® (Source: Ballard and Howell, 1994)

8. REFERENCIAS:

- [1] Ballard, H.G., *The Last Planner System of Production Control*, 2.000, Tesis para el grado de Doctor en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Birmingham (Reino Unido).
- [2] Deming W. Edwards, *Out of the Crisis*, 1.982, MIT Press, Boston, Massachusetts, ISBN 13: 978-0-262-54115-2.
- [3] Koskela, L, *An exploration towards a Production Theory and its Application to Construction*, 2.000, VTT technical Research Centre of Finland.
- [4] Mossman, A; *Last Planner: 5+1 crucial collaborative conversations for predictable design and construction delivery*, 2.005, The Change Business Ltd.
- [5] Orihuela P. y Esteves D.; *Aplicación del Método de la Línea de Balance a la Planificación Maestra*, 2.013, Encuentro Latino Americano de Gestión y Economía de la Construcción, ELAGEC 2.013, Cancún (México)
- [6] Pellicer, E.; Cerveró, F.; Lozano, A.; y Ponz-Tienda, J.L.; *The last planer system of construction planning and control as a teaching and learning tool*, 2.012, Proceedings of INTED 2015 Conference, Madrid (España).
- [7] Pons Achell, J. F. *Introducción a lean construction*, 2014, Fundación Laboral de la Construcción, Madrid (España).
- [8] Rodríguez Fernández, A.D.; Alarcón Cárdenas, L.F.; y Pellicer Armiñano, E.; *La gestión de la obra desde la perspectiva del ultimo planificador*, 2.011, Revista de Obras Públicas nº 3.518, Año 158, ISSN: 0034-8619/ISSN electrónico: 1695-4408, Órgano Profesional de los Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de España.
- [9] Sacks, R. y Partouche, R.; *Empire Estate Building Project: Archetype of Mass Construction*, 2.010, *Journal of Construction Engineering & Management*, Nº 136(6) Pags. 702-710, ASCE, Reston, Virginia (Estados Unidos).
- [10] Seppänen, O; Ballard, G; y Pesonen S.; *The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System*, 2.010, *Lean Construction Journal*, paper presentado en la Conferencia de Haifa (Israel) del International Group for Lean Construction.
- [11] Torres, L, *El Sistema LPS permite dar antes una Promoción*, 2.018, *Revista El Economista* Nº 23, Pags. 40 a 42, Madrid (España).

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Building & Management is an open access scientific e-journal promoted by the School of Building Engineering (ETSEM) of the Universidad Politécnica de Madrid (UPM) and published every four months, three times a year, March, July and November. It aims at the dissemination of high quality original works related to the management of processes associated to buildings, in any phase of their development, where various agents in the sectors of Architecture, Engineering and Construction participate.

1. JOURNAL AIMS AND SCOPE

Topics of interest include all the theoretical, methodological and/or practical advances, in building management --one or several processes-- within any life phase of the building. These could be developed at the academic or professional level.

This magazine is addressed to all the interveners of the building sector. For its better diffusion title, abstract, highlights and keywords of the articles will be published in English and Spanish, and the body is allowed in both languages. English is preferred.

The content will consist primarily of original research manuscripts. However B&M is also open to the publication, always within the scope of the magazine, of: review articles, technical reports, best practices, conference papers, fast-track communications, letters to the editor, states of the art and book reviews. Academic-scientific content must prevail in all occasions.

2. BLINDED PEER-REVIEW PROCESS

The Editorial Board of the magazine, after verification that the article complies with the rules on style and content indicated in the guidelines for authors, sent the text, as double-blind model, to two anonymous external expert reviewers within the specific field, for its evaluation, or to a third if necessary.

Authors will be informed about the initial acceptance or rejection within a month. The evaluation will focus in the interest of the article, its contribution to knowledge of the subject treated, the contributed novelty, the established relationships, critical judgment, developed content, structure, use of bibliographic and references that are handled properly, wording, etc. Indicating recommendations for its possible improvement.

Based on the recommendations of the reviewers, the Editorial Board will inform authors the reasoned result of reports by email, at the address they have used to send the article. The revision process lasts approximately three or four months, without any cost for authors. The Editorial Board will communicate the result to the principal author of the review (published unchanged, with minor corrections publication, publication with important fixes, not suitable for publication).

Building & Management es una publicación de gestión en Edificación de la Escuela Técnica Superior de Edificación (ETSEM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Se trata de una revista digital científica abierta con periodicidad cuatrimestral (marzo, julio, noviembre), que tiene como primer objetivo la divulgación de trabajos originales sobre gestión de los procesos vinculados a la edificación, desarrollados por los sectores de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción en cualquiera de las fases del ciclo de vida del edificio.

1. TEMÁTICA Y ALCANCE DE LA REVISTA

Los temas de interés incluyen todos los avances teóricos, metodológicos y/o empíricos, a nivel académico o profesional, en la gestión de uno o varios procesos dentro de cualquiera de las fases de vida del edificio.

Esta revista va dirigida a todos los agentes del sector de la edificación. Para su mayor difusión el título, resumen, titulares y las palabras clave de los artículos se publican en inglés y en español y el cuerpo del artículo se admite en ambos idiomas dando preferencia al inglés.

El contenido estará formado fundamentalmente por artículos científico-técnicos originales, no obstante, de igual forma y siempre dentro del ámbito de alcance de la revista, B&M también está abierta a la publicación de: artículos de revisión, informes técnicos, buenas prácticas, comunicaciones en congresos, comunicaciones cortas, cartas al editor, estados del arte y reseñas de libros. En todos los casos deberá primar el contenido científico académico, ajustándose al formato de este tipo de publicaciones.

2. REVISIÓN POR PARES DOBLE CIEGO

Los trabajos presentados serán sometidos a una revisión inicial por parte del comité editorial. Los autores de los manuscritos enviados serán informados de la aceptación inicial para su revisión o del rechazo de su artículo en el plazo de un mes de la recepción del mismo.

Si sus contenidos son adecuados serán enviados para una revisión por pares realizada por expertos independientes y de reconocido prestigio, y por un tercero en caso necesario, ajustándose a los protocolos de publicaciones científicas seriadas. Los evaluadores serán seleccionados por el Comité de Redacción en función de su trayectoria investigadora.

Las revisiones por pares se realizarán por un test de doble ciego gestionado online. La valoración incidirá sobre el interés del artículo, su contribución al conocimiento del tema tratado, las novedades aportadas, las correctas relaciones establecidas, el juicio crítico desarrollado, la estructura del contenido, los referentes bibliográficos manejados, su correcta redacción, etc., indicando recomendaciones, si las hubiera, para su posible mejora.

If the manuscript has been accepted with modifications, authors should resubmit a new version of the article, following demands and suggestions of the external evaluators. If desired, the authors can also provide a letter, by email, to the Editorial Board in which they indicate the content of modifications of the article.

If desired, the authors can also provide a letter, by email, to the Editorial Board in which they indicate the content of modifications of the article.

Articles with significant corrections may be sent back to blind peer review to verify the validity of changes made by the author.

Considering the degree of compliance with changes requested, the Board shall decide whether or not the publication of the article. This decision shall be communicated to the author by the Editorial Board and in case of publication the manuscript will be dated as accepted.

3. SUBMITTING A MANUSCRIPT

3.1. FORMAT

Building & Management is an open access publication. Articles will be published online in PDF format, and will be available for free to readers immediately after publication online, without any restriction, at the following electronic address: http://polired.upm.es/index.php/building_management/

The Universidad Politécnica de Madrid reserves the right to distribute the complete numbers as an electronic book for its sale, either in PDF format, ePub or in any other electronic possible format, now or in the future, and / or paper format in print on demand. These alternative formats will have identical content and will be subject to the same copyright as the individual articles in the digital edition, and will be considered equivalent for all purposes.

3.2. SUBMITTING PROCESS

All manuscripts will preferably be written in English or Spanish. Submitted manuscripts will undergo a reviewing process, starting with a linguistic review. Manuscripts with a poor quality in this regard will be returned without evaluation. The submission of a manuscript implies that all co-authors have approved and accepted the content of the submitted text, tables, graphic material and any other complementary material supplied. The corresponding author will be responsible for all the co-authors to correct information about the manuscript. All submissions must be accompanied by a signed letter stating the originality and unpublished nature of the content of the manuscript, and their assurance that it has not been simultaneously sent to another publication for its evaluation. The letter can be downloaded at <https://drive.upm.es/index.php/s/FeqbSU7DSswCIOI>

El consejo editorial decidirá si el manuscrito es aceptado o rechazado basándose en los informes y recomendaciones de los evaluadores externos. El proceso de evaluación tiene normalmente una duración aproximada de entre tres y cuatro meses y no tiene ningún coste para los autores. Todos los informes de evaluación se enviarán a los autores, manteniendo el anonimato (publicación sin cambios; publicación con correcciones menores; publicación con correcciones importantes; no aconsejable para su publicación). En el caso de la aceptación del artículo, los autores deberán considerar los comentarios realizados por los evaluadores y volver a enviar el trabajo con los cambios oportunos. El proceso de revisión se repite, manteniendo el anonimato. En caso que la segunda revisión de los evaluadores sea de nuevo favorable, será probable que el artículo se acepte para su publicación definitiva. Cuando ésta se produzca, al trabajo se le asignará una fecha de aceptación.

3. ENVÍO DE MANUSCRITOS

3.1. FORMATO

Building & Management es una publicación en línea de libre acceso. Los artículos serán publicados en línea en formato PDF, y estarán disponibles de forma gratuita para los lectores inmediatamente después de su publicación en línea, sin ninguna restricción en la siguiente dirección electrónica: http://polired.upm.es/index.php/building_management/

La Universidad Politécnica de Madrid se reserva el derecho de distribuir para su venta los números completos como libro electrónico, ya sea en formato PDF, ePub o en cualquier otro formato electrónico posible en el presente o en el futuro, y/o en formato papel en impresión bajo demanda. Estos formatos alternativos tendrán un contenido idéntico y estarán sujetos a los mismos derechos de autor que los artículos individuales en la edición digital, y serán considerados equivalentes a todos los efectos.

3.2. ENVÍO DE MANUSCRITOS PARA SU EVALUACIÓN Y APROBACIÓN

Los manuscritos estarán redactados preferentemente en Inglés o Español. Los manuscritos enviados serán revisados en primer lugar desde el punto de vista lingüístico. Los manuscritos con un nivel de calidad deficiente en este aspecto serán devueltos sin ser evaluados. El envío de un manuscrito implica que todos los coautores han aprobado y aceptado el contenido del texto remitido, las tablas, el material gráfico y cualquier otro material complementario suministrado. El autor designado como persona de contacto será responsable de que todos los coautores dispongan de información correcta sobre el manuscrito enviado. Todos los envíos deberán ir acompañados de una carta firmada indicando el carácter original e inédito del contenido del manuscrito, y que el mismo no ha sido enviado simultáneamente a otra publicación para su valoración. La carta se puede descargar en <https://drive.upm.es/index.php/s/FeqbSU7DSswCIOI>

3.3. MANUSCRIPT

To help authors to prepare the manuscripts a standard template can be downloaded at http://polired.upm.es/public/journals/22/Author_template_B M.docx

3.4. MANUSCRIPT DELIVER AND ACCEPTANCE

All proposed contents will be related to the objectives of the journal and will have to adhere to the rules contained in the following sections. Manuscripts will be sent to the following email address: bm.edificacion@upm.es. Papers will be written in Spanish or English. Manuscripts should be between 6000 and 8000 words in length, including abstract, key words, highlights, references, etc. Each table or figure will be considered equivalent to 200 words. And before we can accept a manuscript, B&M requires Open Researcher and Contributor ID (ORCID) information for every author on the paper.

3.5. MANUSCRIPT ADMISSION

All manuscripts received will be evaluated through a double-blind system. Suggestions will be sent to the authors to make the necessary modifications. Only original manuscripts that have not previously been published in other journals will be accepted.

3.6. TITLE

The title should be concise, informative, meaningful to the whole readership of the journal and will be written in English and Spanish. The name and surname of the author(s) and the company, university or research center, as well as the e-mail address, will be indicated below.

3.7. ABSTRACT

The articles will include a summary in English and Spanish (between 200 and 300 words) that clearly state the objectives, the approach and conclusions of the research.

3.8. KEYWORDS AND HIGHLIGHTS

Between 4 and 6 keywords in Spanish and English will be included, as well as 3 to 5 headlines (phrases that define the most important issues of the article, with no more than 85 characters each, spaces included).

3.9. PRODUCTION AND SUBMISSION

Writing clear, concise sentences. Proposals will be sent to the e-mail address bm.edificacion@upm.es in electronic format. The text will be sent in a file in .doc format, including the images in the desired place. Articles will be accepted in English and Spanish. When the text is written in English, Sending either the title or the abstract in Spanish will not be necessary.

3.3. PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

Para ayudar a los autores en la preparación de sus manuscritos existe una plantilla que se puede http://polired.upm.es/public/journals/22/Author_template_B M.docx

3.4. ENVÍO Y ACEPTACIÓN

Los trabajos para publicar estarán relacionados con los objetivos de la revista y tendrán que ceñirse a las normas contenidas en los siguientes apartados, debiendo enviar los trabajos a la dirección de correo electrónico bm.edificacion@upm.es. Los trabajos se redactarán en español o en inglés, con una extensión entre 6000 y 8000 palabras, incluyendo resumen, palabras clave, titulares, referencias, etc., así como tablas y figuras con una equivalencia de 200 palabras por cada una. Todos los autores deben aportar su identificador digital ORCID.

3.5. ADMISIÓN DE ORIGINALES

Todos los originales recibidos serán evaluados mediante el sistema de doble ciego cuyas sugerencias se enviarán a los autores para que realicen las modificaciones pertinentes. Sólo se aceptarán trabajos originales que no hayan sido publicados anteriormente en otras revistas.

3.6. TÍTULO

El título de los trabajos será conciso e informativo y expresará su contenido, en inglés y en español. Seguidamente se indicará nombre y apellido del autor o autores, organismo o centro de trabajo y dirección de correo electrónico.

3.7. RESUMEN

Los artículos deberán ir acompañados de un resumen en inglés y en español (entre 200 y 300 palabras) que con toda claridad señale los objetivos, el planteamiento y conclusiones del trabajo.

3.8. PALABRAS CLAVE Y TITULARES

Se incluirán entre 4 y 6 palabras clave en inglés y en español, así como 3 a 5 titulares (frases que definen lo más importante del trabajo, con no más de 85 caracteres incluyendo espacios cada una).

3.9. REDACCIÓN DEL TEXTO Y PRESENTACIÓN

La redacción será clara y concisa. Los trabajos se enviarán a la dirección de correo electrónico bm.edificacion@upm.es en formato electrónico. El texto se enviará en un archivo en formato Word, incluidas las imágenes en el lugar deseado. Los trabajos se admitirán en inglés y en español. Cuando el texto esté redactado en inglés, no será necesario mandar ni el título ni el resumen en español.

3.10. REFERENCES

References must be limited to those indispensable that are directly related to the article's content. Citations in the text and references will meet the IEEE standard format. There should be no less than 25 references and at least 30% of them from the last 4 years.

The DOI (Digital Object Identifier) should be incorporated into every reference for which it is available.

♦ Books

[1] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, Multidimensional Systems, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, <http://dx.doi.org/>, 1995, pp. 133-180.

♦ Journal articles

[2] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, <http://dx.doi.org/>, June 1997.

♦ Technical report

[3] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, <http://dx.doi.org/>, 1997

♦ Master End Project or PhD thesis

[4] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, <http://dx.doi.org/>, 1998.

♦ Internet

[5] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Last date reviewed.

3.11. TABLES, FIGURES AND GRAPHICS

The number of tables and figures should be limited by sending only those that are really useful, clear and representative. They will be numbered correlatively according to the quotation in the text and each one will have its caption. They will be placed in the right place of the text.

Tables and figures should be designed in Word or Excel, so that they are visible when conforming to the format of 8.8 cm (width of 2 columns) presenting a good contrast so that they do not lose quality with the reduction. If necessary, once the article has been accepted, the journal may ask the corresponding author separately for tables and figures with better resolution. Sources must be included, when necessary, for tables, figures.

The resolution of pictures should not be less than 300 dpi (dots per inch). If the size of the final file is too large (more than 10 MB), then the manuscript should contain the figures with minimized resolution, and the original figures must be

3.10. REFERENCIAS

Las referencias deberán reducirse a las indispensables que tengan relación directa con el trabajo enviado. Las citas en el texto y las referencias consignadas seguirán el formato IEEE. Se propone un número de citas no inferior a 25, con el 30% de las mismas publicadas en los últimos cuatro años.

Siempre que la publicación citada disponga de DOI, será necesaria su incorporación en la referencia bibliográfica.

♦ Libros

[1] A. Rezi and M. Allam, "Techniques in array processing by means of transformations," in *Control and Dynamic Systems*, Vol. 69, Multidimensional Systems, C. T. Leondes, Ed. San Diego: Academic Press, <http://dx.doi.org/>, 1995, pp. 133-180.

♦ Artículos de revistas científicas

[2] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, "TDM and TWDM de Bruijn networks and sufflenets for optical communications," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, <http://dx.doi.org/>, June 1997.

♦ Informes técnicos

[3] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, <http://dx.doi.org/>, 1997

♦ Trabajo fin de máster o tesis doctoral

[4] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images". Ph.D. dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, NJ, USA, <http://dx.doi.org/>, 1998.

♦ Internet

[5] J. Jones. (1991, May 10). *Networks* (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>. Last date reviewed.

3.11. TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICOS

El número de tablas y figuras deberá limitarse en lo posible enviando solo las que sean realmente útiles, claras y representativas. Estarán numeradas correlativamente según la cita en el texto y cada una tendrá su pie explicativo. Se colocarán en el lugar adecuado del texto.

Las tablas y figuras deben ser diseñadas en Word o Excel, de forma que sean visibles al ajustarse al formato de 8,8 cm (ancho de 2 columnas) presentando un buen contraste de forma que no pierdan calidad con la reducción. En caso de ser necesario, una vez aceptado el artículo, la revista podrá volver a solicitar tablas y figuras por separado y con mejor resolución. En las tablas, figuras e imágenes que no sean del autor se deberán citar las fuentes.

La resolución de las imágenes no será inferior a 300 puntos por pulgada. Si el tamaño del archivo final es demasiado grande (superando los 10 MB), si el artículo es aceptado, se enviará el manuscrito conteniendo en su posición las figuras

provided in separate files, if the article is accepted.

3.12. FORMULAS AND EQUATIONS

Formulas should be inserted and not embedded as an image in the Word document at all. They will be numbered in parentheses in correlative order, following the text citation order, done using the same notation.

3.13. LAYOUT

Authors will receive a layout PDF proof that should be reviewed within a maximum period of three days. Modifications of the original text will not be accepted during the proofreading.

3.14. CHECKLIST BEFORE SUBMITTING

As part of the submission process, authors are required to indicate that their submission complies with all of the following elements, and to accept that submissions that do not comply with these guidelines may be returned to the author.

1. The submission has not been previously published nor been reviewed simultaneously by another journal (Or an explanation has been provided in "Comments to the editor").
2. The file sent is in Word format.
3. The template available on the journal's website has been used and the rules set out have been followed.
4. The authorship declaration is being signed by the author and all the coauthors and attached with the manuscript file in the submitting e-mail to the Editor to bm.edificacion@upm.es
5. The text meets the bibliographic and style requirements indicated in the template available on the journal's website.
6. Description of the last check that must be made before sending the article, in order to avoid the most common errors:
 - ◆ There is a list of the names of all the authors using superscript numeric identifiers to link an author with an address and institution where necessary.
 - ◆ It can be find the institution followed by the full postal addresses (including e-mail) of every author.
 - ◆ Title, abstract, highlights and Keywords are included in English and Spanish.
 - ◆ The main text has 6000 to 8000 words, including abstract, keywords, etc., and also figures and graphics with an equivalence of 200 words for each.
 - ◆ The abstract has 200 to 300 words.
 - ◆ It has 4 to 6 Keywords and It has been selected 3-5 highlights with the main information of the manuscript, each

con una resolución inferior y se aportarán las figuras con máxima resolución en archivos independientes.

3.12. FÓRMULAS Y/O EXPRESIONES MATEMÁTICAS

Deberán insertarse en el propio documento Word y en ningún caso incrustado como imagen. Se numerarán entre paréntesis por orden correlativo, siguiendo el orden de la citación en el texto, que utilizará las misma nomenclatura.

3.13. PRUEBAS

Se enviará a los autores la prueba de maquetación en PDF que deberá ser revisada en un plazo máximo de tres días. En la corrección de pruebas no se admitirán modificaciones del texto original.

3.14. LISTA DE COMPROBACIÓN DE PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, se les requiere a los autores que indiquen que su envío cumpla con todos los siguientes elementos, y que acepten que envíos que no cumplan con estas indicaciones pueden ser devueltos al autor.

1. El envío no ha sido publicado previamente ni está dentro del proceso de revisión de otra revista (o se ha proporcionado una explicación en "Comentarios al editor").
2. El fichero enviado está en formato Word.
3. Para la redacción del manuscrito se ha utilizado la plantilla disponible en la web de la revista y se han seguido las normas expuestas.
4. Se junta, junto al artículo, el formulario de declaración de autoría disponible en la página web de la revista debidamente relleno y firmado a la dirección de email bm.edificacion@upm.es
5. El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Normas para autoras/es, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.
6. Descripción de la última comprobación que debe realizarse antes de enviar el artículo, con el fin de evitar los errores más comunes:
 - ◆ Aparecen los autores con nombres y apellidos o declaración de autor institucional, utilizando el identificador numérico para cada autor.
 - ◆ Aparece la entidad a la que está adscrito el autor o los autores y sus datos de contacto (incluido e-mail).
 - ◆ Se ha expresado el título, el resumen, las palabras claves y los titulares, en español y en inglés.
 - ◆ El número de palabras es de entre 6000 y 8000 palabras, incluyendo resumen, palabras clave, etc., así como tablas y figuras con una equivalencia de 200 palabras por cada una.
 - ◆ La extensión del resumen se adecua a las normas de

- ◆ Tables, diagrams and figures are entered in a borderless text box, including inside the figure caption in the lower part the table foot and are placed and cited in the text in consecutive numerical order
- ◆ The list of references are made according to the reference requirements of the Journal, and at least the 30% of them are dated in the last four years.
- ◆ Authors' short biography with 50 to 75 words is included.
- ◆ The author has the permission to use the material with rights of another author, even if it is in the Web.

Any inquiry regarding the submission of the article can be resolved in the first instance on the website of the magazine. For other inquiries, the magazine contact email is available: bm.edificacion@upm.es

4. COPYRIGHT

The originals of Building & Management magazine are property of the Universidad Politécnica de Madrid, being necessary to cite the origin of any partial or total reproduction.

All the original articles published in Building & Management are subject to discussion and comments from our readers. Opinions should be sent to the journal's email address, within a period of three months, starting from the date of publication.

Authors retain the copyright of the papers and ensure B&M the right to have a Creative Commons license, Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0), that allow others to share the article within an author recognition and non commercial use.

Authors can also establish independently additional agreements for the not exclusive distribution of the article published versión in the e-journal (as, for example, to place it in an institutional repository or to publish it in a book).

Unless otherwise indicated, all contents of the electronic edition of Building & Management are distributed under a Creative Commons license and distribution.

5. PRIVACY STATEMENT

The personal data provided to in this journal will be used exclusively for the purposes stated by Building & Management and will not be available for any other purpose or another person.



- ◆ El número de palabras clave son entre 4 y 6, y los highlights entre 3 y 5 con 85 caracteres incluidos espacios.
- ◆ Todas las tablas y figuras están insertadas en cuadros de texto, con su correspondiente leyenda, en la parte inferior de las mismas.
- ◆ Todas las referencias citadas en el texto, están referenciadas al final del artículo y viceversa. Y se nombran en orden de aparición.
- ◆ Todas las referencias están en el formato adecuado y el 30% de las mismas están fechadas en los últimos 4 años.
- ◆ Incluye el perfil académico y profesional del autor/es (entre 50 y 75 palabras)
- ◆ El autor dispone del permiso para usar el material con derechos de otro autor, incluso si está en la Web.

Cualquier consulta relativa a la presentación del artículo, puede resolverse en primera instancia en la página web de la revista. Para otras consultas, se dispone del correo de contacto de la revista: bm.edificacion@upm.es

4. NOTA DE COPYRIGHT

Los originales de la revista Building & Management, son propiedad de la Universidad Politécnica de Madrid, siendo necesario citar la procedencia de cualquier reproducción parcial o total.

Todos los artículos originales que se publican en Building & Management quedan sometidos a discusión y al comentario de nuestros lectores. Las opiniones deben enviarse a la dirección de correo electrónico de la revista, dentro del plazo de tres meses, contados a partir de la fecha de su publicación.

Los autores conservan los derechos de autor y garantizan a la revista el derecho de una licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0), que permite a otros compartir el trabajo con un reconocimiento de la autoría y uso no comercial.

Los autores pueden establecer por separado acuerdos adicionales para la distribución no exclusiva de la versión de la obra publicada en la revista (por ejemplo, situarlo en un repositorio institucional o publicarlo en un libro).

Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica Building & Management se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons.

5. DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

TOPICS COVERED BY B&M

Case studies
Due diligence
Licence management
Risk assessment management
Documentation procurement
Communication and information management: ICT, Big data, Construction 4.0
Management of bill of quantities, estimation, analysis and costs control
Project monitoring
Deadline management
Economic, financial, equipment and human and material resources management
Technical planning management
Management of strategic planning
Design management
Management and control of changes and coordination of activities
Management of production planning and programming
Contracts and construction management
Advanced techniques of construction management
Process management in building, control and process improvement techniques
Management of occupational risk prevention and health & safety
Regulatory management and quality control
Environmental management
Management of waste and polluted soils
Water management
Materials management
Energy management
Other resources management
Building heritage management
Management of conservation, maintenance and exploitation
Facilities management
Building Management systems
Sensing, monitoring and control
Audit of management systems
Energy Audit
Assessment of environmental impact plans, programs and projects
Energy and environmental certification
Implementation of environmental management systems
Management of hygrothermal comfort
Management of acoustic comfort
Indoor air quality management
Accessibility Management
Diagnosis and methodology
Intervention criteria
Reuse
Territory management
Urban planning
Management of environmental resources
Air quality
Training for management
Research in construction
Integrated project management
Real estate assessments
Judicial appraisal
Management of social matters

LÍNEAS DE PUBLICACIÓN DE B&M

Casos de estudio
Due diligence
Gestión de las licencias
Gestión del análisis de riesgos
Gestión de la documentación
Gestión de la comunicación y de la información: TIC, Big data, Construcción 4.0
Gestión de las mediciones, estimación, análisis y control de los costes
Monitorización de proyectos
Gestión de plazos
Gestión económica, financiera, de equipos y de los recursos humanos y materiales
Gestión de la planificación técnica
Gestión de la planificación estratégica
Gestión del diseño
Gestión y control de cambios y coordinación de las actividades
Gestión de la planificación de la producción y programación
Gestión de la contratación y de las obras
Técnicas avanzadas de gestión de la construcción
Gestión del proceso en edificación, técnicas de control y mejora de procesos
Gestión de la prevención de riesgos laborales y seguridad e higiene
Gestión de normativa y control de la calidad
Gestión medioambiental
Gestión de residuos y de suelos contaminados
Gestión del agua
Gestión de los materiales
Gestión de la energía
Gestión de otros recursos
Gestión del patrimonio edificado
Gestión de la conservación, el mantenimiento y explotación
Gestión de las instalaciones
Los sistemas de gestión en el edificio
Sensorización, monitorización y control
Auditoría de sistemas de gestión
Auditoría energética
Evaluación del impacto ambiental de planes, programas y proyectos
Certificación energética y medioambiental
Implantación de sistemas de gestión ambiental
Gestión del confort higrotérmico
Gestión del confort acústico
Gestión de la calidad del aire interior
Gestión de la accesibilidad
Diagnóstico y metodología
Criterios de intervención
Reutilización
Gestión del territorio
Planificación urbanística
Gestión de recursos del entorno
Calidad del aire
Formación para la gestión
Investigación en edificación
La gestión integrada de proyectos
Valoraciones inmobiliarias
Pericia judicial
Gestión de los aspectos sociales

