



Figura 0. Fuente: mini_malist (es ocupado) se distribuye bajo licencia CC BY-ND 2.0.

Transformación de la construcción y la arquitectura en los últimos veinte años: prospectivas y perspectivas. Análisis bibliométrico de los tópicos más desarrollados en revistas internacionales de alto impacto

Transformação da construção e de arquitetura nos últimos vinte anos: prospectivas e perspectivas. Análise bibliométrica dos tópicos mais desenvolvidos em revistas internacionais de alto impacto

The transformation of construction and architecture in the last twenty years: Prospects and perspectives. A bibliometric analysis of the most-addressed topics in international high-impact journals.

Alba Inés Ramos-Sanz

Investigadora asistente Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET), Docente de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina
draarqalbaramossanz@gmail.com | <https://orcid.org/0000-0003-4069-4740>

Artículo recibido el 08 de abril de 2019 y aceptado el 27 de junio de 2019
DOI: <https://doi.org/10.22320/07196466.2019.37.055.07>



Resumen

Se lleva a cabo un estudio bibliométrico estadístico de las tendencias de los tópicos relacionados al diseño, diagnóstico de edificios y construcción, desarrollados en los últimos 19 años a través del análisis de cinco casos de revistas internacionales específicas en el área de la investigación de alto impacto en arquitectura y construcción. El volumen total de papers involucrados en los tópicos de análisis alcanza las 24.230 unidades. Con estos datos históricos se espera determinar las temáticas de actualidad, de relevancia sostenida y detectar tópicos emergentes de gran potencial transformador en la disciplina. Se observan tendencias de desarrollo en los tópicos emergentes de interés y crecimiento porcentual entre la totalidad de los tópicos considerados. Se define la variación del nivel de participación de algunos temas en la arquitectura y construcción en el tiempo, en los casos analizados. Los resultados señalan los tópicos estables y aquellos emergentes cuyo desarrollo y antigüedad anuncia una tendencia próxima que transformará nuevamente el modo de diseñar, comunicar y construir el objeto arquitectónico.

Palabras claves

Arquitectura, construcción, bibliometría, prensa arquitectónica

Resumo

Um estudo bibliométrico estatístico das tendências entre os tópicos relacionados à desenho, diagnóstico de edifícios e construção, desenvolvidos nos últimos 19 anos através de análise de cinco casos de estudos de revistas internacionais específicas, com alto impacto na área de pesquisa em arquitetura e construção. O volume total de papers levantados dentro das temáticas de análise alcança as 24.230 unidades. Com estes dados históricos espera-se determinar as temáticas mais atuais e relevantes e detectar temáticas emergentes de grande potencial transformados na disciplina. Se observam tendências de desenvolvimento de tópicos de emergentes interesse e crescimento percentual entre a totalidade dos tópicos considerados. Define-se a variação de nível de participação de alguns temas na arquitetura e na construção no tempo, dentre os casos analisados. Os resultados mostram os tópicos estáveis e os emergentes cujo desenvolvimento anuncia uma tendência próxima que transformará novamente o modo de desenhar, comunicar e construir o objeto arquitetônico.

Palavras chaves

Arquitetura, construção, bibliometria, imprensa arquitetônica

Abstract

A statistical bibliometric study of the trends of the topics related to the design, diagnosis of buildings and construction developed over the last 19 years is carried out through the analysis of five cases of international journals specific to the area of high impact research. in architecture and construction. The total volume of papers involved in the topics of analysis reaches 24,230 units. With these historical data it is expected to determine current issues, of sustained relevance and to detect emerging topics of great transforming potential in the discipline. Development trends are observed in the emerging topics of interest and percentage growth among all the topics considered. The variation in the level of participation of some topics in architecture and construction over time is defined in the cases analyzed. The results indicate the stable topics and those emerging whose development and antiquity announces a forthcoming trend that will transform again the way of designing, communicating and constructing the architectural object.

Keywords

architecture, construction, bibliometrics, architectural press

* Financiado por el Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT).

Introducción*

A lo largo de la historia de la Arquitectura se han fundado teorizaciones sobre el objeto de diseño y se establecieron técnicas de análisis del espacio arquitectónico y del producto construido. Desde la antigüedad, la arquitectura evoluciona como un producto tecnológico social, y a pesar de que la industria de la construcción es una de las más ineficientes y desactualizadas de las industrias en el mundo, los actuales avances tecnológicos están impactando en la disciplina y el ejercicio profesional de manera sostenida.

En este sentido, podemos destacar tres tipos de transformaciones detectadas en el diseño arquitectónico y la construcción: (a) transformación visual, (b) transformación del objeto arquitectónico a flujos y (c) transformación del proceso de construcción en información.

a - Transformación visual. Veinte años atrás los espacios arquitectónicos eran representados en dos dimensiones en papel, o bien, en 3 dimensiones, mediante maquetas. La experiencia del cliente se limitó a estos recursos hasta hace poco tiempo, cuando emergen nuevos modos de interactuar y comunicar el espacio y objeto arquitectónico a través de programas comerciales de simulación en CAD 2D (1960s; AutoCAD) y 3D (1990s; 3DStudio). La dificultad de visualizar el objeto de diseño al consumidor facilitó la experiencia en 3 dimensiones y demandó la inmersión del sujeto en el espacio previo a su materialización real. La realidad virtual (VR) acercó el objeto al escenario del render y facilitó las animaciones en 3D, sin embargo, el sujeto no podía experimentar el espacio. Este límite espacial es superado mediante lo que se conoce como “realidad inmersiva” o “inmersión virtual” (IV). Esta tecnología ha continuado avanzando para proporcionar hoy lo más reciente en construcción, la Realidad Aumentada (AR). Esta es la manera de ver en 3D un elemento bidimensional y de compartir la información (en 4D, 5D y 6D) que contiene el mismo, con solo disponer de un IPod o un Smart Phone (Campos, 2019).

b - Transformación del objeto arquitectónico en flujos. El objeto arquitectónico transita desde un objeto de colección y espectáculo hacia un sistema en el cual se desplazan flujos de recursos, materias primas y desechos a un entorno más amplio; se conoce que el sector de la construcción es responsable de entre el 30 y el 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Ibn-Mohammed, Greenough, Taylor, Ozawa-Meida y Acquaye, 2013), del 48% (Dixit, M. K.; 2017) del consumo de energía primaria, del 25% de los desechos generados en el planeta, y del 15% del consumo de agua (Ding, 2014). La construcción es mirada ahora como un objeto de eficiencia.

El cambio climático exige a los arquitectos un diseño adecuado, condensado en una arquitectura bioclimática y su normatividad (IRAM 11600), cuyo objeto arquitectónico es ahora codificado matemáticamente en funciones de modelos para simulaciones más o menos complejas, o bien, traducido en entrada de datos para utilizar herramientas disponibles de simulación termo-energética (ECOTEC, Energy Plus, etc.). En este contexto, la escasez de recursos promueve el surgimiento de nuevas metodologías de enfoques para el análisis del ciclo de vida del edificio (Life Cycle Analysis, LCA) encuadradas

en estándares como las International Estándar Organization (ISO; 14044; 2006). El objeto diseñado se descompone en un inventario de recursos y emisiones que se desplazan en el espacio y en el tiempo, atravesando una serie de diagnósticos previos a su construcción, con el fin de garantizar la eficiencia ambiental en el empleo de los recursos. Complementario al análisis del Life Cycle Analysis, el Life Cycle Cost Analysis surge como una necesidad en algunos gobiernos de determinar la rentabilidad de los flujos monetarios para la toma de decisiones de inversión, y esta metodología financiera se extiende hacia el sector privado en las empresas constructoras y organismos de inversión interesados en el Real Estate.

c - Transformación del proceso constructivo en información. Emergen desde los años noventa nuevas metodologías de seguimiento y control del proceso de construcción, a lo cual se conoce con el nombre "Building Information Modelling" (BIM; Santos, Costa y Grilo, 2017). En búsqueda de la eficiencia en las industrias, la filosofía o "Producción LEAN" (LP; Sartal, Llach, Vázquez y de Castro, 2017), también llamado "Sistema Toyota" migra desde la industria manufacturera hacia la industria de la construcción, con el fin de reducir las desviaciones (Seis Sigma) y controlar el 50% de excesos observados en costos y el 70% de las desviaciones estándar detectadas en tiempos de ejecución de la obra. La Realidad Aumentada (Paes, Arantes e Izarry, 2017; de Klerk et al., 2019) asiste a la ejecución de la obra en cuanto facilita la transmisión de la información desde planificadores hacia ejecutores de diversa preparación. La impresión 3D aplicada a las construcciones promete agilizar los tiempos de ejecución y reducir costos en materiales desperdiciados. La Industria 4.0 (I4.0) es una facilitadora de la tecnología de punta desarrollada en países centrales, que convoca a la revolución digital en las industrias.

Se observa, de este modo, una diversidad de temas desarrollados en los últimos tiempos, en torno al objeto arquitectónico. A continuación, se presentan algunas definiciones de los tópicos predominantes en el ámbito académico, específicamente del área técnica de la arquitectura y la construcción, los cuales parecen ser los enfoques tradicionales de la arquitectura del siglo XXI.

La ISO 14044 (2006) define al Análisis del Ciclo de Vida (LCA) como una compilación y evaluación de los in-puts, out-puts y potenciales impactos ambientales de un sistema-producto (los edificios, por ejemplo) a lo largo de su ciclo de vida -diseño, armado, uso, desarme y deposición final-. Esta metodología se caracteriza por definir límites físicos u operativos del sistema de análisis, límites temporales y unidades de análisis denominadas unidades funcionales. El límite de tiempo de vida considerado para analizar los edificios se define en la normativa con un alcance de 60 años. Uno de los desafíos del Life Cycle Analysis es establecer indicadores universales, es decir que cada análisis es particular y es complejo definir los límites de cada sistema. El Life Cycle Analysis puede ser utilizado como un enfoque para Estudios de Casos, pero no es una metodología cuyos resultados puedan verificarse mediante la replicación, como sucede con el método científico. Si bien existen normativas que se basan en el Life Cycle Analysis, los estándares no son suficientes para definir relevancias, como ocurre en el ciclo de vida de la construcción de edificios residenciales y comerciales en

los cuales la energía empleada en la etapa de uso comprende entre el 70% y el 90% del total (Azzouz, Borchers, Moreira y Mavrogianni, 2017). En este marco, si por alguna razón -que puede ser financiera- el análisis promueve un estudio en un espacio temporal menor a 60 años, la mayor incidencia de consumo energético se traslada a la etapa de construcción, orientando el estudio a la determinación de la energía incorporada en materiales de construcción del edificio considerado y la energía utilizada en el proceso constructivo del mismo.

Life Cycle Cost Analysis es una metodología de los flujos de fondos de un proyecto de inversión en construcción y/u optimización termo-energética de una envolvente a lo largo de su ciclo de vida (Lee y Lee, 2017). Longo, Montana y Sanseverino (2019) señalan, desde este enfoque, que el costo es la variable privilegiada para la toma de decisiones ante una optimización. De esa forma, la reducción de la demanda energética como finalidad viene a participar en forma secundaria a los costos, que son la función objetivo (Robati, McCarthy y Kokogiannakis, 2018). Los autores confirman que casi el 40% de las funciones empleadas en los casos de análisis del Net Zero Energy Buildings (NZEB) pertenecieron a costos de inversión y operativos, mientras que el 30% de las mismas fueron aplicadas al near Zero Energy Buildings (nZEBs). Ambos análisis aplican funciones pertenecientes a la metodología del Life Cycle Cost Analysis y del Global Cost (Standard EN 15459; 2007), actualizados a la función del Valor Presente Neto (Net Present Value, NPV). Estas funciones se utilizan generalmente en estudios de optimización multiobjetivo, en combinación con variables de confort térmico y consumo energético.

La Eficiencia Energética (EE) aplicada a los edificios toma varias denominaciones y funciones uni o multi-objetivo. Entre ellas, se encuentran las Net Zero Energy Buildings (NZEBs), las Low Energy Buildings (LEBs), las comercialmente difundidas como Passive Haus (PH) o Passive Buildings (PBs). Puede observarse que el tópico Bioclimatic Design (BD) está implícito en el tópico Eficiencia Energética, con nuevas denominaciones. Chastas, Theodosiou y Bikas (2016) indica aquí que, de la energía incorporada a los edificios residenciales sustentables, entre un 11 y el 13% pertenece a los passive buildings, un 26% a 57% a los low energy buildings, y entre el 74% al 100% a los Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs). Este enfoque eficientista de la arquitectura ha devenido en una serie de metodologías de optimización, tales como los algoritmos evolucionarios y genéticos. Tales algoritmos interactúan con softwares comerciales para simulación termo física de una población de edificios, -conocidos como Building Simulation Performance (BSP)- cuyos out-puts son recibidos por la función objetivo -o multiobjetivo- para proporcionar una serie de soluciones mejoradoras posibles (Longo et al., 2019). Algunas veces el investigador solamente emplea el software como recurso suficiente, dejando de lado la instancia de optimización del objetivo, ya sea ésta con empleo de algoritmos genéticos o evolucionarios. Otros investigadores, con el fin de simplificar los tiempos de simulación excluyen los modelos termo-físicos y dinámicos para manejar la problemática de la optimización mediante modelos estadísticos más sencillos que la función objetivo. Esto sucede, por ejemplo, en cuanto al estudio de la determinación de los

Tópicos Establecidos	Tópicos Emergentes
Energy Efficiency (EE)	Virtual Reality (VR)
Sustainable Building (SB)	Inmersed Virtual (IV)
Bioclimatic Design (BD)	Augmented Reality (AR)
Water Foot Print (WFP)	Building Information Modelling (BIM)
Carbon Foot Print (CFP)	Industry 4.0 (I4.0)
Life Cycle Analysis (LCA)	Lean Production (LP)
Life Cycle Cost (LCC)	3D Printer/Printing (3DP)

Tabla 1. Tópicos a analizar en el estudio; en la columna la izquierda los temas de actualidad y en la derecha los temas nuevos. Fuente: Elaboración de la autora.

indicadores estadísticos Voto Medio Predicho del usuario del edificio (Predicted Mean Vote, PMV) y el Voto Predicho de Insatisfacción (Predicted Percentage Dissatisfied: PPD) implicados en correlaciones uni y/o multivariadas.

La adopción de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) por parte de las empresas constructoras y estudios de arquitectura ha demostrado ser una herramienta útil para la colaboración y toma de decisiones con mayor efectividad. Asimismo, el método de representación del espacio construido durante la fase de diseño permite no solo interpretar el mismo, sino que promueve ahorros en tiempos y costos. A pesar de los esfuerzos por desarrollar la Realidad Aumentada y/o Virtual para aplicaciones en edificios sustentables (Shin, Jeong, Lee, Hong y Jung, 2017), estas herramientas solo incorporan información proveniente de la simulación termo-energética pero no de la realidad térmica de la envolvente en el momento de visualizarla (Ham y Golparvar-Fard, 2013). Y, aunque las empresas y profesionales adopten esta técnica de visualización, en el ámbito de la investigación se ha visto poco desarrollada (con cierto impulso en las últimas dos décadas).

Metodología

Se lleva a cabo, en este punto, un estudio bibliométrico de análisis de las tendencias de los tópicos en construcción y diseño arquitectónico orientadas a las transformaciones (a, b y c) planteadas en la

Introducción del presente trabajo, y desarrollados en los últimos años, abordando para ello cinco casos de revistas internacionales de investigación de alto impacto registradas en el sitio web Science Direct (2019) de la editorial ELSEVIER. Estos casos constituyen revistas de alto impacto, según Clarivate Analytics Journal Rank (2019) y Scimago Journal and Country Rank, (2019), instancias que las sitúan en el cuartil 1 (Q1) del área de Arquitectura: Energy and Buildings (EB; factor de impacto 2.061); Building and Environment (BE; factor de impacto 2.169); Sustainable Cities and Society (SCS; factor de impacto 1.047); Automation in Construction (AC; factor de impacto 1.61), y Computers, Environment and Urban Systems (CEUS; factor de impacto 1.27). En Energy and Buildings; Building and Environment; Automation in Construction, y Computers, Environment and Urban Systems se dispone de datos para un análisis de un espacio temporal de 19 años (2002-2019) continuados, de los cuales se cuenta con un total de 12.282 publicaciones -o papers- de Energy and Buildings, en los tópicos de interés en este trabajo; con 5.386 de Building and Environment; 2.756 de Automation in Construction y 556 de Computers, Environment and Urban Systems. Para el abordaje de Sustainable Cities and Society se alcanzaron 3.250 publicaciones en un espacio temporal de nueve años (2011-2019). De la mano de este material, se buscó determinar el interés de investigadores en temáticas de actualidad, de relevancia sostenida y tópicos emergentes de gran potencial transformador en la arquitectura, diseño y construcción, desde un enfoque técnico. Para ello, se seleccionó una serie de palabras clave que identifican a los tópicos a abordar en este estudio. Luego, se diferenciaron los tópicos entre temas establecidos y temas emergentes, a partir de la estabilidad en la participación en las publicaciones consideradas (Tabla 1)

Una vez realizado un análisis estadístico de los datos obtenidos, se llevó a cabo una profundización sobre aquellos tópicos de mayor relevancia, los cuales presentan gran potencial de transformación de la arquitectura desde el diseño, la construcción y el uso de los espacios construidos. Para examinar en profundidad los temas significativos detectados en este trabajo, en cuanto a relevancia y emergencia en la arquitectura y construcción, se escogió un número de publicaciones de cada tópico relevante y efectuó una indagación en la cual se sintetizan los aspectos más destacados que abordan las temáticas y la metodología de análisis. La metodología empleada persigue detectar tendencias a partir del mismo criterio de análisis, por lo cual los resultados presentados a continuación conservan un formato de comunicación que puede resultar reiterativo al lector, siendo este propio del encuadre estadístico al cual se ajusta. Los términos explicitados en Tabla 1 se citan con frecuencia en el texto por lo cual, a fin de evitar la reiteración, se presenta su denominación completa al inicio de los resultados en cada caso, para luego continuar mediante el empleo de siglas. Por otra parte, el empleo de los tópicos y sus siglas en inglés presenta relación con el mayor volumen de las publicaciones científicas alcanzadas mediante el empleo de los mismos como palabras clave, títulos o resúmenes. El volumen de las publicaciones relacionadas a estos tópicos, expresados en castellano, es significativamente inferior.

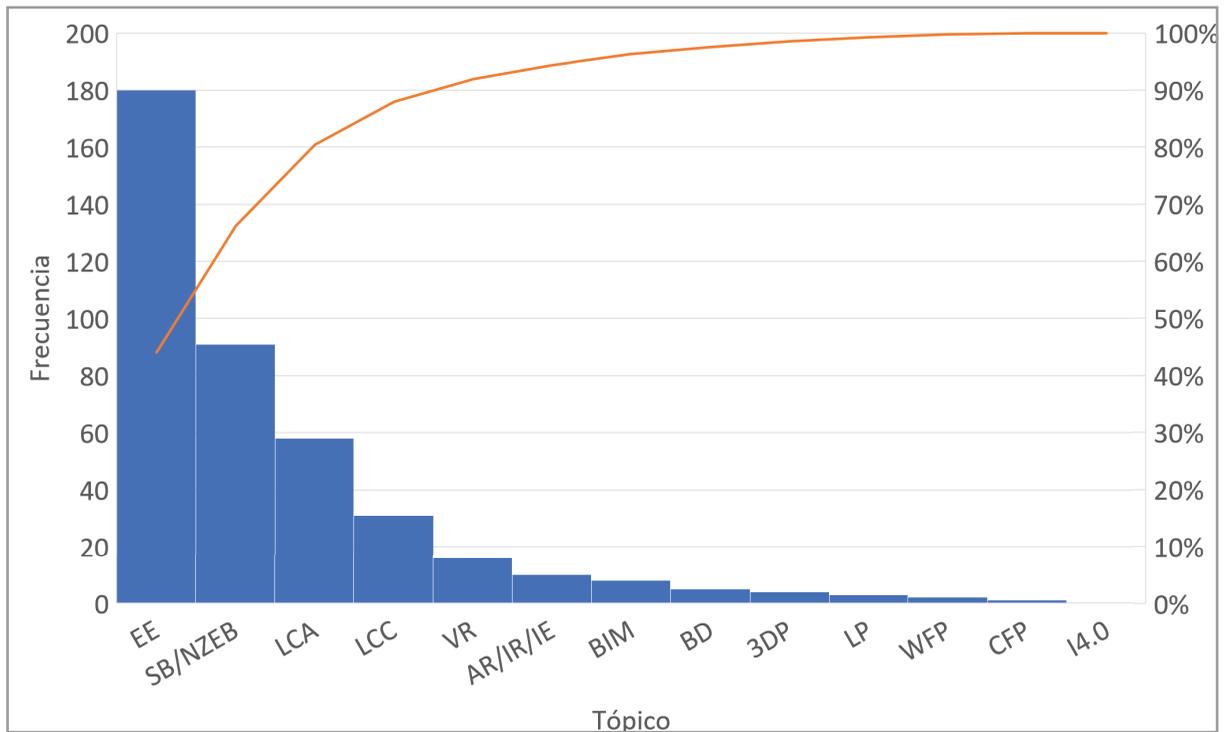


Figura 1. Diagrama de Pareto de los tópicos establecidos y los emergentes (2002-2019). Fuente: Elaboración de la autora.

Resultados

Caso 1: *Buildings and Environment* (BE; 2002-2019) SJR 2.169

Puede observarse en el Diagrama de Pareto (Figura 1) que en el período de 19 años en la revista *Building and Environment*, más del 80% acumulado de las publicaciones se encuentra representado por el tópico *Energy Efficiency* (EE). Este tópico alcanza un promedio del 44% anual de papers, mientras que la construcción sustentable, *Sustainable Building* (SB), es el tópico que sigue en orden de interés, con un 24% promedio de publicaciones. Sub-representados, se advierten temas metodológicos tales como *Life Cycle Analysis* (LCA), el cual comprende un 15% anual de promedio de trabajos publicados en 19 años, y *Life Cycle Cost Analysis* (LCC), con un 11%. Los temas menos relevantes para la revista *Building and Environment* son los temas innovadores, incluso el *Building Information Modelling* (BIM), el cual ha tenido gran publicidad en la última década, no supera aquí al 1% de las publicaciones.

Entre los siete tópicos de vanguardia en Arquitectura, en el caso de *Building and Environment* se destaca *Virtual Reality* (VR), con un crecimiento que supera el 320% entre 2002 y 2019. Esta tasa de crecimiento es similar a la observada en tópicos como EE, LCA y *Lean Production* (LP). La línea de crecimiento de VR, así como de los temas emergentes en Arquitectura como *Inmersed Virtual* (IV), *Augmented Reality* (AR), BIM y *3D Printing* (3DP) es fluctuante y por ello no es posible predecir el potencial de desarrollo de estas áreas. El tópico emergente *Industry 4.0* (I4.0) aún no se ha registrado en

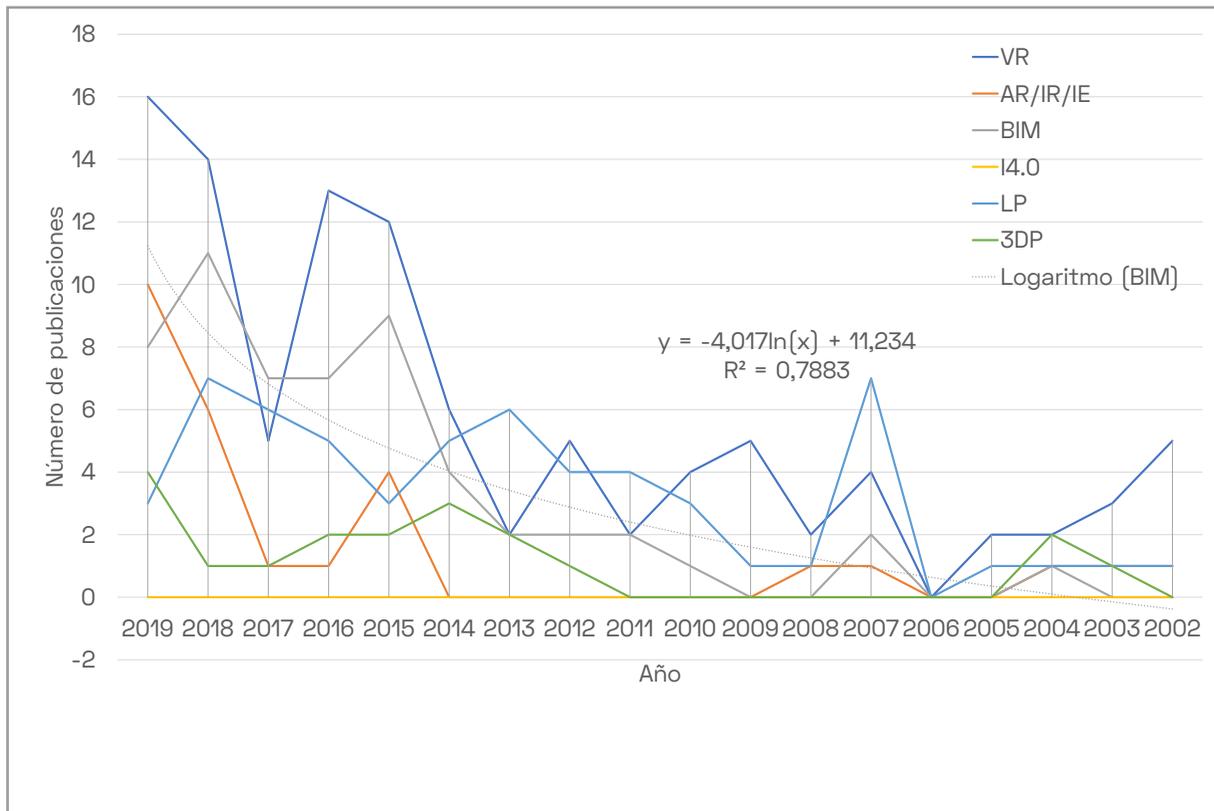


Figura 2. Desarrollo de tópicos establecidos a lo largo del tiempo, en función del número de publicaciones por caso. Fuente: Elaboración de la autora.

ninguna publicación en el caso analizado. Puede observarse en las Figuras 2 que el crecimiento de tópicos relevantes en la revista a lo largo de 19 años, como EE, SB, LCA, LCC e, incluso otros de menor importancia en estas publicaciones, como *Bioclimatic Design* (BD), ha sido sostenido y estable en comparación a lo que ocurre con el impacto de los temas de vanguardia en el mismo período de tiempo.

Caso 2: *Energy and Buildings* (EB; 2002-2019) SJR 2.061

En este caso, los temas relevantes son también *Energy Efficiency* (EE), que exhibe más del 80% acumulado de investigaciones en el área, seguido por *Sustainable Buildings* (SB). El orden de relevancia de los tópicos replica al caso 1, pero entre los temas vanguardistas I4.0 se ubica como uno de los más publicados en 19 años, con un 2% de participación anual promedio.

El desarrollo de los tópicos en cuanto al interés que han despertado en el período de análisis, señala un 51% de promedio anual de trabajos publicados en el área de EE, seguido por un 21% anual del tópico SB. Hasta el año 2013 EE y SB crecen en forma proporcional, sin embargo, a partir de 2013 se observa un crecimiento en EE que supera el doble de publicaciones situadas en SB, indicando claramente la magnitud de la relevancia de este tópico en el caso. Los tópicos metodológicos de *Life Cycle Analysis* (LCA) y *Life Cycle Cost* (LCC) siguen en orden de número de publicaciones anuales con un 12% y 10% promedio, respectivamente. Entre los temas emergentes, se destaca el tópico *Industry 4.0* (I4.0), con el 2% de participación promedio anual. Llama la atención que un tópico tradicional como *Bioclimatic Design*

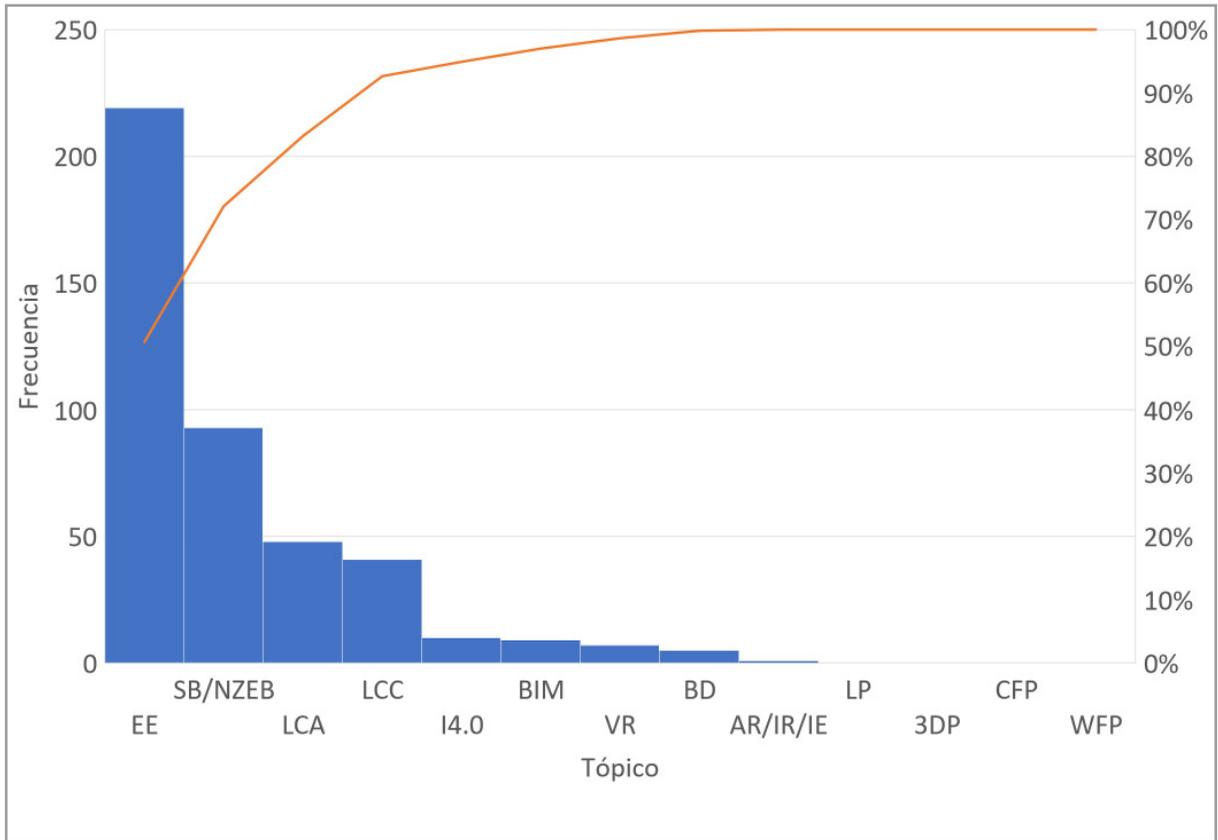


Figura 3. Diagrama de Pareto de los tópicos establecidos y los emergentes (2002-2019). Fuente: Elaboración de la autora.

(BD; 2% promedio anual) se caracterice por la misma representatividad que un tópico tan reciente en la Arquitectura como I4.0.

Los tópicos *Lean Production* (LP) y *3D Printing* (3DP) aún no han sido publicados en los 19 años de existencia de la revista analizada. En el caso 1 se menciona el crecimiento inestable de los tópicos innovadores a lo largo del tiempo, sin embargo, en *Energy and Buildings* se observa un crecimiento diferente para I4.0, marcado por una relativa estabilidad respecto de los demás tópicos emergentes en Arquitectura. El tópico I4.0 ofrece un crecimiento cuya línea de tendencia se ajusta a una exponencial con coeficiente $R^2=0,78$.

$$Y_{4.0} = 46,83e^{0,208x} \quad (1)$$

Desde este punto de vista, a partir de la expresión (1) podría esperarse que en siete años -para el año 2026- la cantidad de publicaciones que aborden el tópico I4.0 crezca más de cuatro veces o un 430% respecto de 2019. Las proyecciones son las presentadas en [Tabla 2](#). Puede apreciarse allí que para el año 2019 las publicaciones estimadas con el modelo fueron igual a 9, mientras que en la realidad se publicaron 10 trabajos en el área I4.0.

Caso 3: *Sustainable Cities and Society* (SCS; 2011-2019) SRJ 1.047

Se aborda aquí una revista relativamente nueva, con nueve años de existencia. El análisis muestra que el mayor porcentaje acumulado de publicaciones para este caso corresponde al tópico *Sustainable Buildings* (SB), con un 37% de participación anual media, seguido por *Energy Efficiency* (EE), con un 30% promedio. El tópico SB se ha

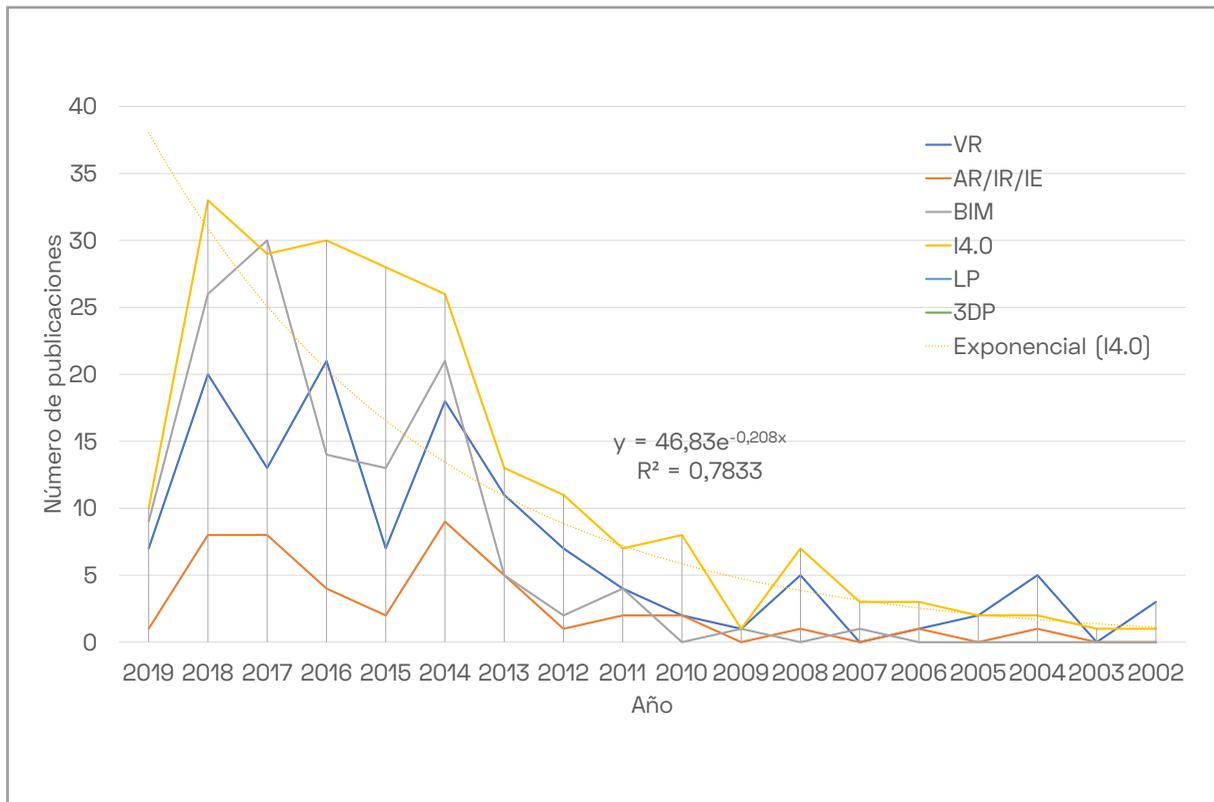


Figura 4. Desarrollo de tópicos establecidos a lo largo del tiempo, en función del número de publicaciones por caso. Fuente: Elaboración de la autora.

conservado por arriba de EE a lo largo de los 9 años considerados. Luego, al igual que en los casos 1 y 2, los tópicos *Life Cycle Analysis* (LCA) y *Life Cycle Cost Analysis* (LCC) se presentan a continuación, con un 14% y 13% de promedio anual, respectivamente.

Asimismo, se observa que el tópico *Bioclimatic Design* (BD) es uno de los temas menos desarrollados entre los tópicos establecidos, representando hasta el 2% de promedio anual de publicaciones del caso 3. En este tópico sucede algo particular: los temas emergentes tales como *Virtual Reality* (VR), *Building Informatio Modelling* (BIM) e *Industry 4.0* (I4.0) superan a BD en participación, respecto a publicaciones aparecidas durante el tiempo contemplado.

En cuanto a los demás tópicos emergentes, *Augmented Reality* (AR) es el más reciente en temas de Arquitectura y Construcción publicados en este caso, a partir del año 2015. Tal como en los casos 1 y 2, en este se repite un crecimiento inestable de los tópicos emergentes publicados en el periodo. Solamente en el caso de VR es posible definir una línea de tendencia polinómica lo suficientemente ajustada (coeficiente R2=0,86) para predecir el crecimiento del tópico en el futuro.

$$Y_{vr} = 0,1418x^2 - 2,8344x + 14,57 \quad (2)$$

Para este tópico y considerando el modelo polinómico obtenido, se estima un crecimiento a siete años del 309%, a partir de 2019. Este valor es inferior a la tasa de crecimiento registrada desde 2011, con un 500% en nueve años. En el caso analizado, el tópico que más creció en

Año	X (períodos)	-0,208	e	Y(I4.0) Publicaciones	Crecimiento Esperado
2019	8	-1,664	0,2	9	1,0
2020	7	-1,456	0,2	11	1,2
2021	6	-1,248	0,3	13	1,5
2022	5	-1,04	0,4	17	1,9
2023	4	-0,832	0,4	20	2,3
2024	3	-0,624	0,5	25	2,8
2025	2	-0,416	0,7	31	3,5

Tabla 2. Proyección de crecimiento de participación del tópico Industry 4.0 (I4.0) en el caso 2, *Energy and Buildings*.
Fuente: Elaboración de la autora.

Arquitectura y Construcción es el LCA (1689%), a pesar de conservar una participación inferior al 15%, de entre los tópicos abordados.

Caso 4: Automation in Construction (AC; 2002-2019) SRJ 1.61.

La revista *Automation in Construction* es de naturaleza interdisciplinar, nutrida tanto de la construcción como de la computación y de la mecánica. La mayor cantidad de publicaciones en este caso corresponden al tópico *Building Information Modelling* (BIM), seguido de *Energy Efficiency* (EE) y *Sustainable Buildings* (SB) o *Net Zero Energy Buildings* (NZEB). *Virtual Reality* (VR) constituye igualmente un tópico de gran participación.

En concreto, de entre los temas establecidos en construcción, SB es el que presenta mayor desarrollo (3.450%), seguido de EE (2.675%), que es el tópico con mayor participación proporcional en la revista.

Entre los denominados tópicos emergentes, se advierte un desarrollo considerable, en especial en BIM (13.700%), cuyas publicaciones comenzaron a observarse a partir del año 2005. Desde el año 2010, la participación anual de este tópico en el caso 4 se ha mantenido en un 25%.

BIM es indudablemente el tópico con mayor interés en cuanto a la temática del caso, mientras que VR y *Augmented Reality* (AR) representan los tópicos emergentes que le siguen en importancia. Cabe señalar que estos tópicos, en el caso 4, presentaron un gran crecimiento y participación en los años 2002-2008 y, a partir de 2009, parte de ese espacio se le concede a BIM. Históricamente, VR y AR han sido los tópicos fuertes de AC.

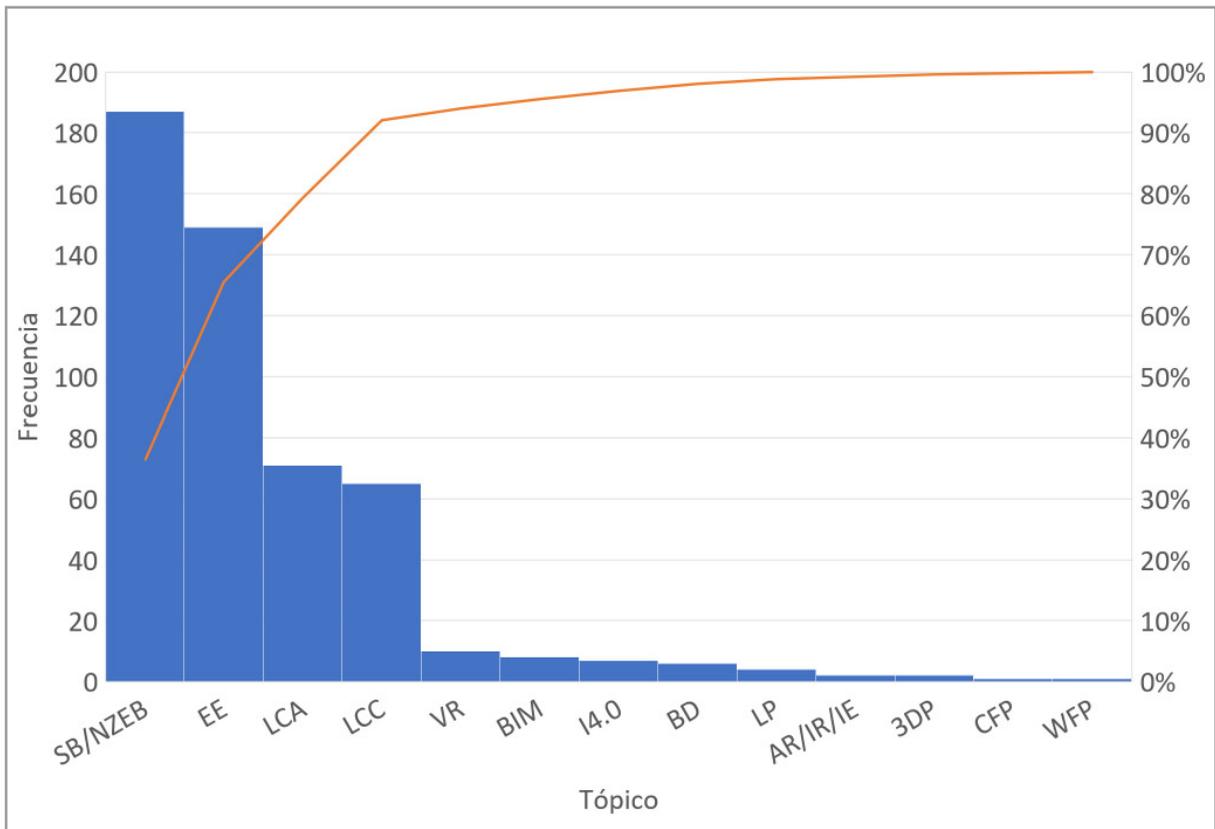


Figura 5. Diagrama de Pareto de los tópicos establecidos y los emergentes (2011-2019). Fuente: Elaboración de la autora.

Caso 5: Computers, Environment and Urban Systems (CEUS; 2002-2019) SRJ 1.27

Esta revista presenta un claro enfoque, el enfoque de *Energy Efficiency* (EE): a lo largo de los 19 años el tópico se ha sostenido en una participación anual cercana al 60%. Los demás tópicos no presentan una participación comparable a la de EE en este caso de estudio. Nuevamente, entre los tópicos emergentes no es posible distinguir un crecimiento sostenido en el tiempo ni una clara tendencia con algún grado de ajuste significativo.

Discusión

Puede concluirse a partir del análisis precedente que los tópicos tradicionales son los que hoy presentan la mayor participación en los cinco casos seleccionados; sería factible afirmar que en la actualidad las investigaciones se enfocan en desarrollos científicos y tecnológicos en temas de sostenibilidad aplicada al objeto arquitectónico, entre los cuales se encuentran los tópicos de *Energy Efficiency* (EE), *Sustainable Buildings* (SB), *Net Zero Energy Buildings* (NZEB) y, con menor presencia, *Life Cycle Analysis* (LCA).

En lo que sigue se espera alcanzar proyecciones sobre los tópicos actuales y el estado actual de desarrollo de los emergentes. En el diagrama de tornado se reúne la información sintetizada destacando el crecimiento de los tópicos en general, para los 24.230 papers publicados en los cinco casos de análisis. Entre los temas más desarrollados en arquitectura y construcción se encuentran el

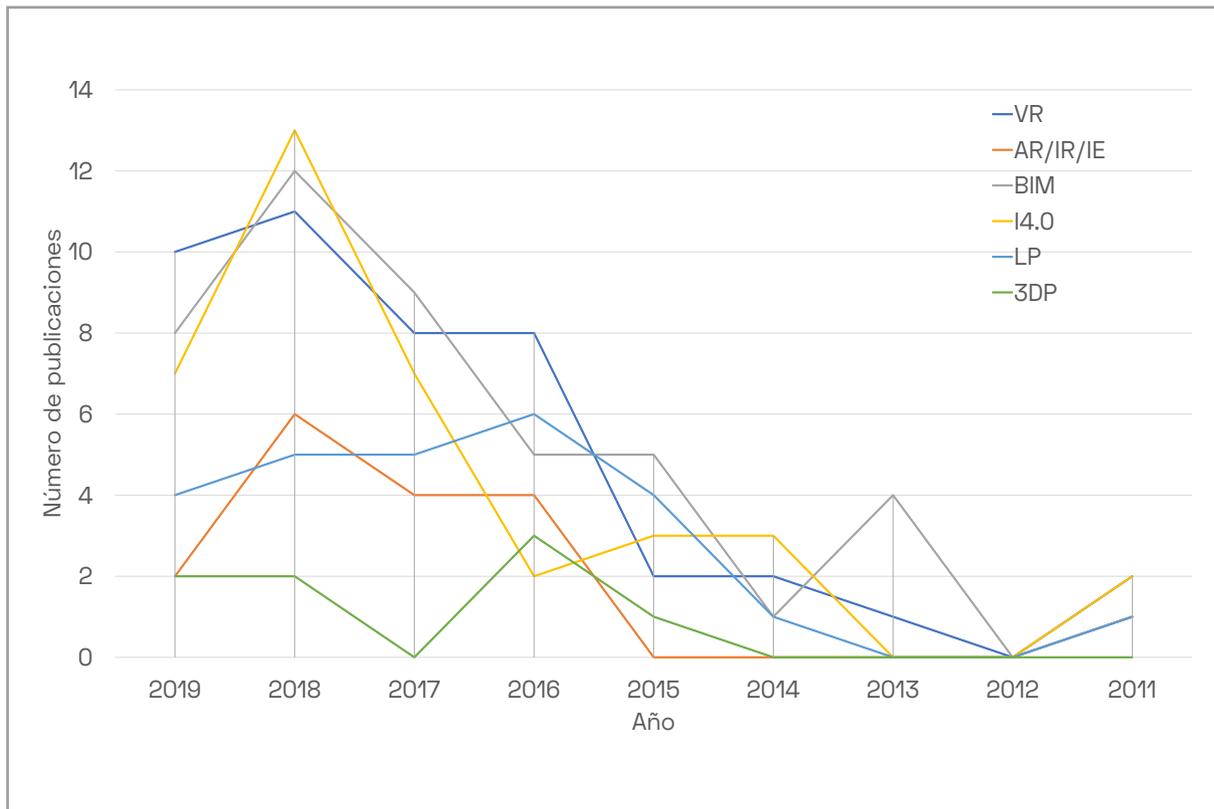


Figura 6. Desarrollo de tópicos establecidos a lo largo del tiempo, en función del número de publicaciones por caso. Fuente: Elaboración de la autora.

Building Information Modelling (BIM; 1860%), *Sustainable Building o Net Zero Energy Buildings* (SB o NZEB; 972%), *Life Cycle Análisis* (LCA; 692%) y *Energy Efficiency* (EE; 643%). Entre las áreas menos exploradas por los investigadores se hallan temas tales como *Water Foot Print* (WFP; 83%), *3D Printing* (3DP; 200%) y *Carbon Foot Print* (CFP; 160%). El crecimiento de algunos tópicos emergentes -*Augmented Reality* (AR), *Inmersed Virtual* (IV), *Building Information Modelling* (BIM), *Lean Production* (LP), *3D Printing* (3DP)- no presenta un comportamiento estable, sino que este se manifiesta como un desarrollo creciente pero caótico (ver Figuras 2, 4, 6 y 10). Entre los tópicos con crecimiento relativamente más estable, se ubican *Virtual Reality* (VR) e *Industry 4.0* (I4.0), cuyas líneas de tendencia pueden obtenerse con coeficientes de ajuste aceptables en algunos casos. Incluso VR supera el crecimiento y participación relativa de temas con mayor antigüedad en el medio académico, como *Bioclimatic Design* (BD).

Estos resultados observados en las Figuras 11 y 12 se relacionan al tipo de transformación planteada en la Introducción: (a) Transformación visual, (b) Transformación del objeto arquitectónico en flujos y (c) Transformación del proceso constructivo en información. En la Figura 12 se ha eliminado el caso *Automation in Construction* por la gran dispersión que presenta respecto de los demás valores, como puede reflejarse en el diagrama de tornado de la Figura 11. A simple vista se observa una menor desproporción en los valores medios de la Figura 12. *Automation in Construction*

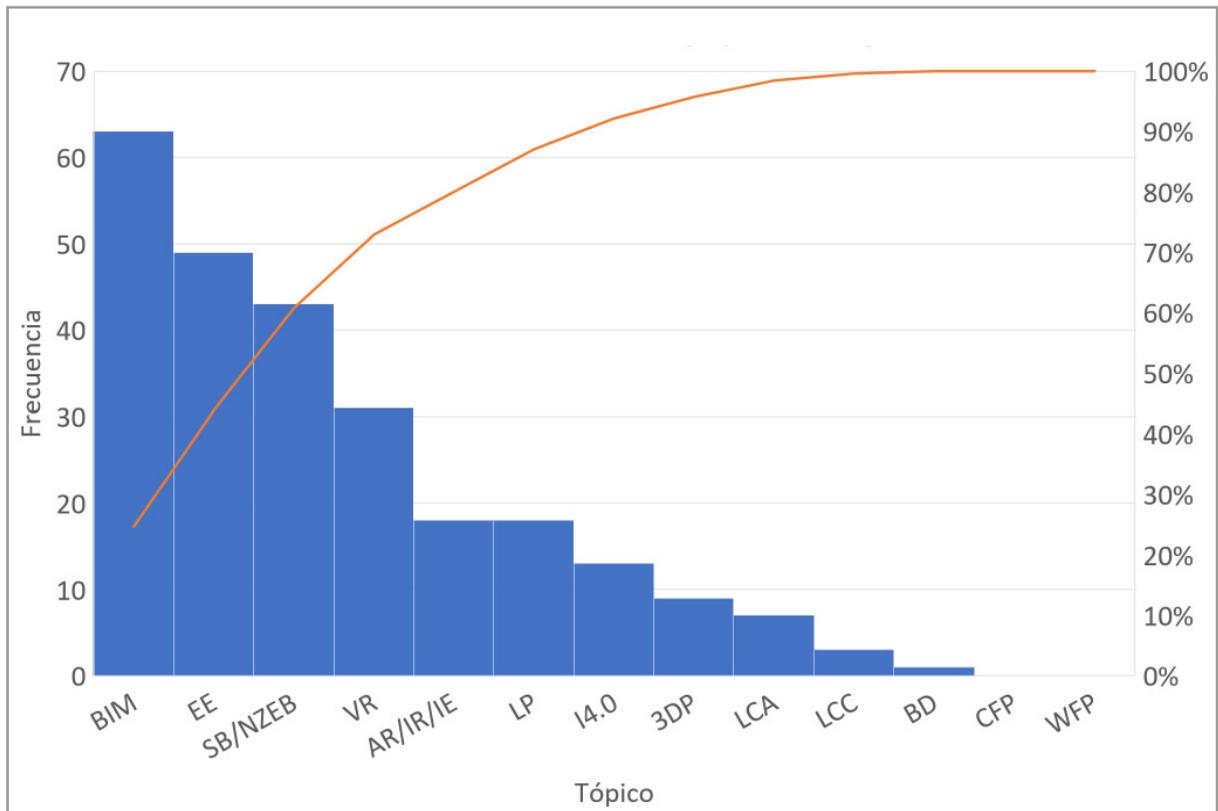


Figura 7. Diagrama de Pareto de los tópicos establecidos y los emergentes (2002-2019). Fuente: Elaboración de la autora.

distorsiona los promedios de los demás casos, ya que su enfoque se orienta a las ciencias de la computación aplicadas a la arquitectura y construcción, y -como es de esperarse- el tópico BIM supera en forma desmedida a los demás tópicos; fenómeno que se neutraliza cuando se lo separa.

El mayor desarrollo de BIM confirma una tendencia hacia la transformación visual del objeto arquitectónico (a) y la transformación en el proceso de construcción en información (c). El BIM es en sí mismo un método de trabajo colaborativo, basado en un modelo digital prototipado el cual contiene la información de los diversos sistemas que conforman el objeto arquitectónico y que se extiende a lo largo del proceso de parametrizado y ejecución de la construcción. No representa una metodología de diseño sino una herramienta de altas prestaciones, particularmente atractiva para empresas constructoras. Su difusión en América Latina ha conseguido especial adopción en países como México y Brasil. Sin embargo, en el resto de la región la metodología BIM carece de aceptación, también en el ámbito académico. La mayor utilidad de la metodología en México y Brasil se observa en el modelado interdisciplinario de los sistemas que comprende el objeto arquitectónico. El gran interés de esta metodología radica en algunas facilidades para modificar el objeto arquitectónico juntamente con sus costos y su demanda energética estimada. Un impacto negativo en la arquitectura por parte del BIM como método lo constituye su prematura aplicación durante la etapa de diseño, previa al prototipado; este vicio promueve productos arquitectónicos de menor calidad en cuanto al diseño, que aquellos

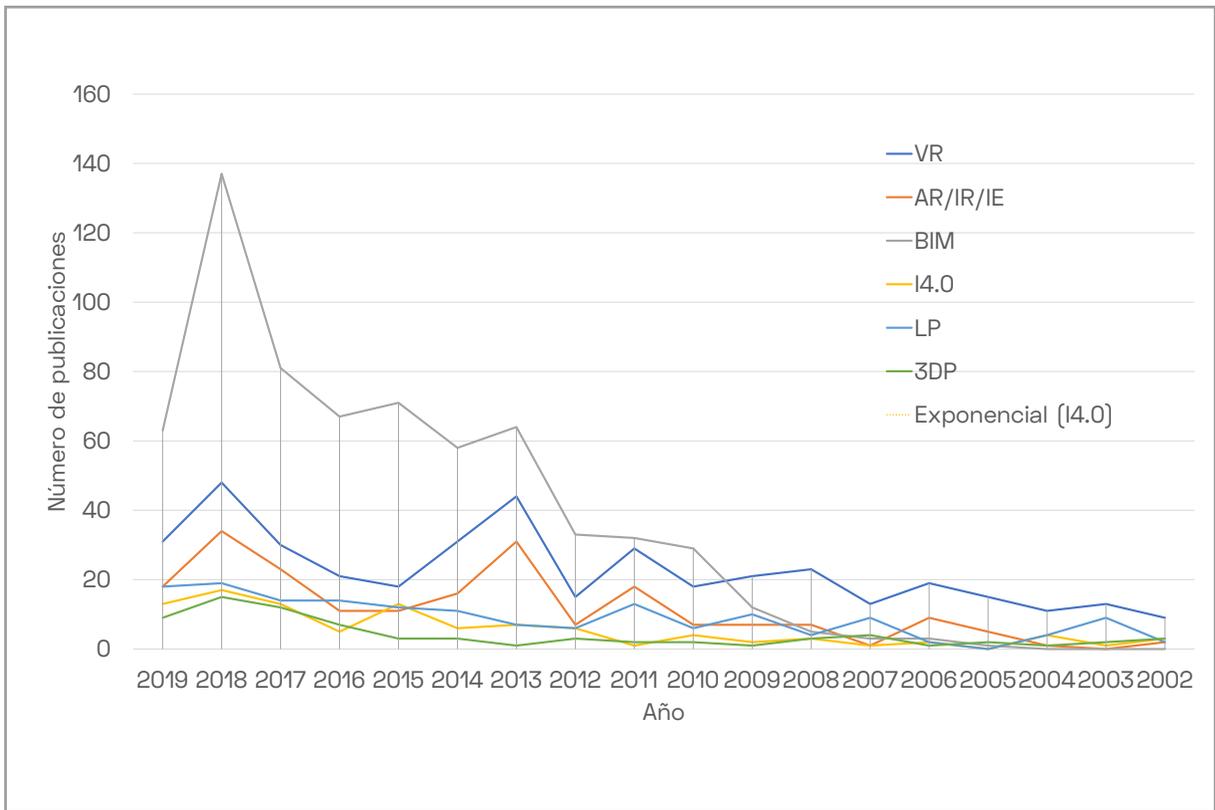


Figura 8. Desarrollo de tópicos establecidos a lo largo del tiempo, en función del número de publicaciones por caso. Fuente: Elaboración de la autora.

obtenidos mediante métodos tradicionales como el dibujo a mano, el sketch, el collage, el brainstorming, etc.

El tópico *Sustainable Buildings* (SB), también llamado *Net Zero Energy Buildings* (NZEB), y el tópico *Energy Efficiency* (EE) presentan el segundo grupo de gran desarrollo, los cuales tienden a confirmar esta transformación del proceso arquitectónico en flujos (b). En este caso, el objeto arquitectónico en su diseño es particularmente explorado. Los experimentos en esta área son comunes, por lo cual se pueden encontrar con frecuencia herramientas de simulación termoenergéticas y modelados matemáticos para analizar el desempeño de la envolvente arquitectónica frente al entorno hasta que, a través de un número significativo de iteraciones, se encuentre un óptimo probable. El objeto arquitectónico sostenible se diseña en base a un bagaje de conocimientos técnicos del arquitecto sobre el juego entre la envolvente y su adecuación al entorno climático. En este sentido, en América Latina, así como en el resto del mundo, la arquitectura pasiva es la base de la sostenibilidad y se pueden hallar a lo largo de la historia ejemplos de envolventes arquitectónicas -comúnmente denominadas "arquitectura vernácula"- perfectamente adecuadas a su contexto. No obstante, y a pesar de este testimonio de la arquitectura, América Latina presenta problemas sociales comunes, como la pobreza, que reclaman soluciones a la falta de acceso a la vivienda. Desde esa perspectiva, el desafío pasa por la acción de los gobiernos, en términos de adherir a un criterio de sostenibilidad al momento de satisfacer la necesidad de vivienda social.

El tópico *Life Cycle Analysis* (LCA) es otra metodología

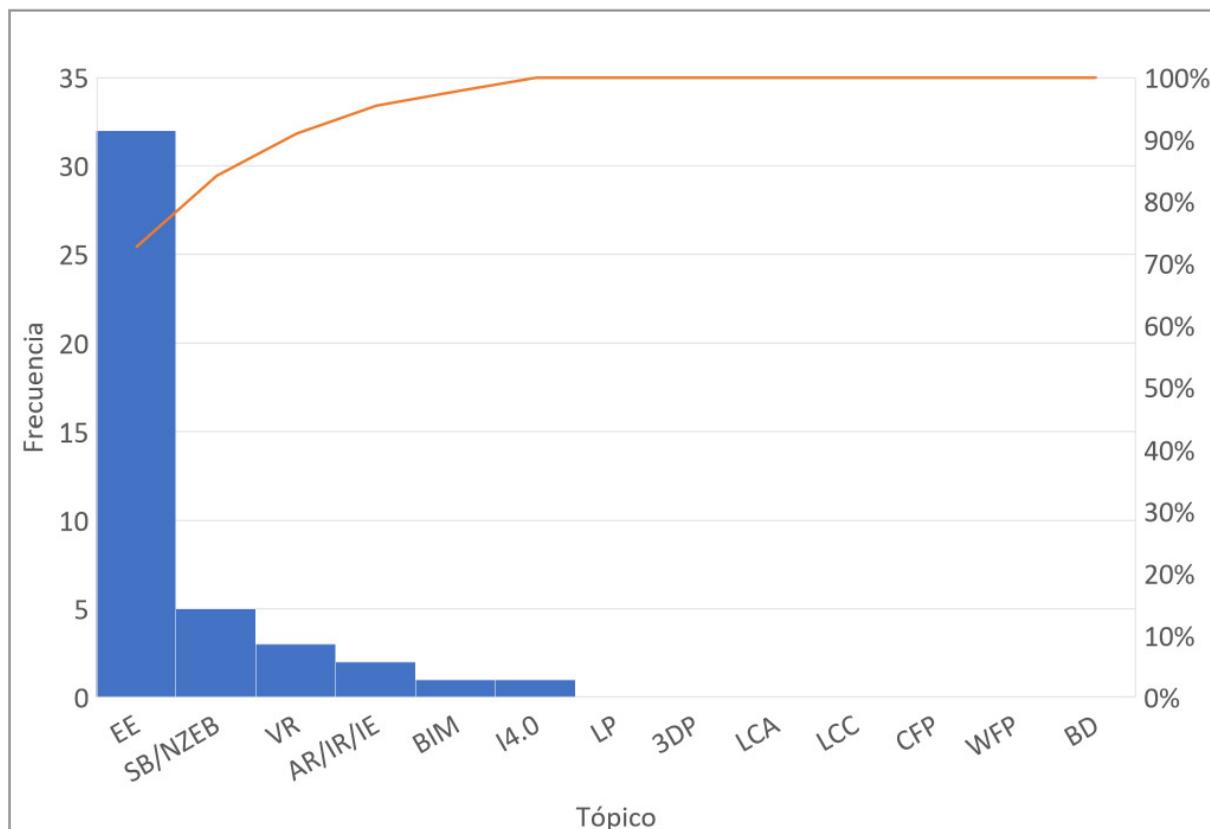


Figura 9. Diagrama de Pareto de los tópicos establecidos y los emergentes (2002-2019). Fuente: Elaboración de la autora.

de gran difusión, que afecta -nuevamente- a la transformación del objeto arquitectónico en flujos (b). Efectivamente, el método presenta gran difusión a nivel internacional y, asimismo, impacta en la arquitectura, dado que comprende el objeto construido desde su diseño hasta su construcción y/o su demolición, según sea el interés del LCA. Las unidades funcionales para este tipo de estudios pueden ser numerosas, tantas como elementos compongan el edificio, así como sus prestaciones a lo largo de la vida útil considerada. A pesar de su complejidad, y de numerosos esfuerzos académicos, el método carece de un lenguaje común a escala mundial y de rigor científico. Si bien existen bases de datos y programas de simulación para el análisis, generalmente no se abordan todas las etapas que implica un estudio de este tipo, sobre todo en la instancia del Análisis del Impacto (*Life Cycle Impact Analysis-LCIA*). En el contexto latinoamericano se observa su aplicación con gran diversidad como paso previo a la estimación de la huella de carbono de un producto y/o servicio. Esto es especialmente atractivo para las industrias, aunque existen investigaciones en los ámbitos académicos de estimación de la huella de carbono de construcciones, ya sea a partir de la estimación de su demanda energética prevista para su ciclo de vida, o bien, respecto de la energía incorporada y otros recursos empleados en la etapa de construcción.

Entre los tópicos que menos se citan en los casos examinados se encuentran *Carbon Foot Print* (CFP), *3D Printing* (3DP) y, especialmente, el tópico *Water Foot Print* (WFP). La difusión de las huellas de carbono, hídricas y ecológicas ha facilitado un

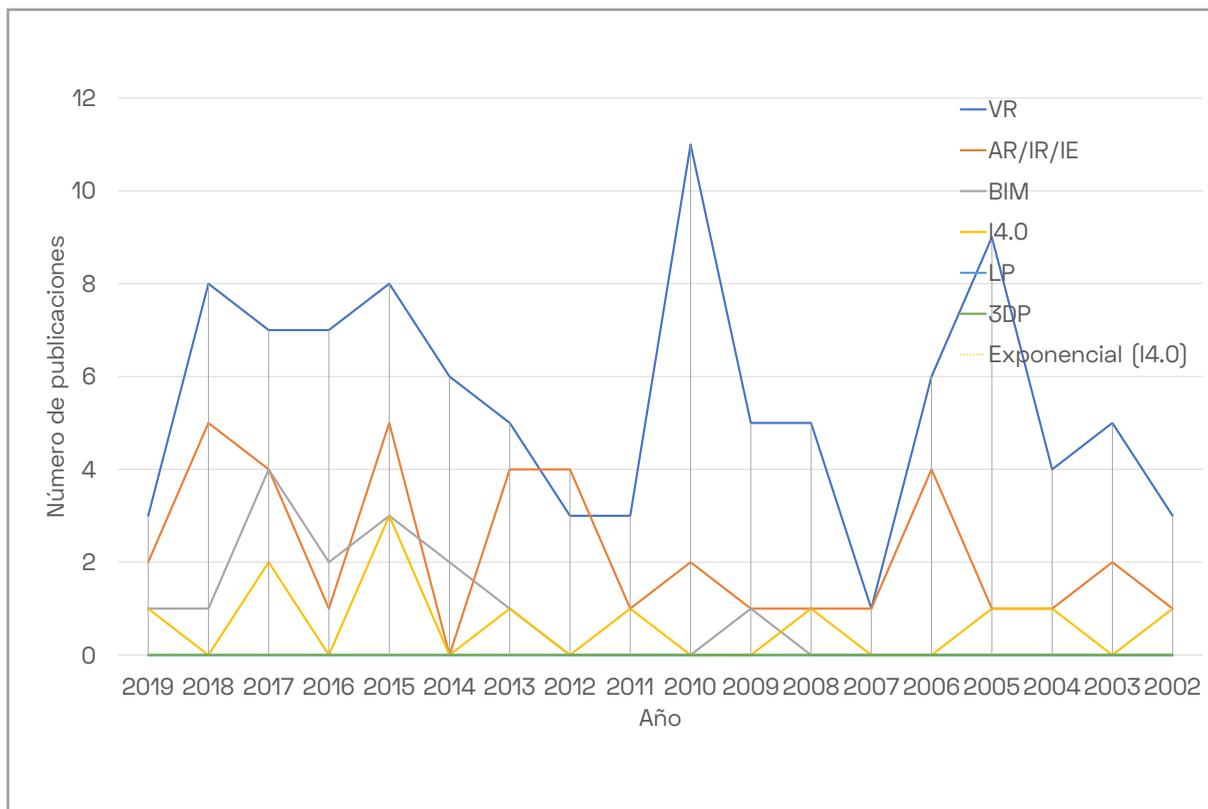


Figura 10. Desarrollo de tópicos establecidos a lo largo del tiempo, en función del número de publicaciones por caso. Fuente: Elaboración de la autora.

comercio sostenible. El objeto arquitectónico como producto de consumo, no debe permanecer al margen de estas tendencias ya que son particularmente relevantes para la sostenibilidad, aun cuando todavía no dispongan de rigor científico puesto que promueven un encuadre de la problemática ambiental. Esta ausencia del tópico en los trabajos académicos puede deberse en parte al hecho de que la estimación de las huellas en sí misma constituye un método poco riguroso desde la ciencia. La complejidad de esta clase de estudios requiere análisis sectoriales, por elementos, parciales e incompletos, dada la extensión de los límites a los cuales impacta un suceso -ya sea la fabricación o uso de un recurso, así como su desecho-. De tal manera, cuando se considera que América Latina presenta menor desarrollo y que, en consecuencia, el Producto Bruto Interno Per Cápita en los países de la región se halla por debajo de la media mundial -excepto en Chile, Argentina, Panamá, Puerto Rico y Uruguay-, se infiere que los niveles de emisiones de dichos países también lo estarán. Igualmente, la huella ecológica (hídrica y de carbono) de América Latina presenta un peso relativamente bajo en comparación con países más desarrollados, favorecida por el carbono neutro que proporciona la extensión de sus territorios cultivables. De hecho, estos países centrales parecen estar en falta en cuanto a las estimaciones y reducciones de sus huellas desde el rigor científico, como puede observarse en las revistas analizadas.

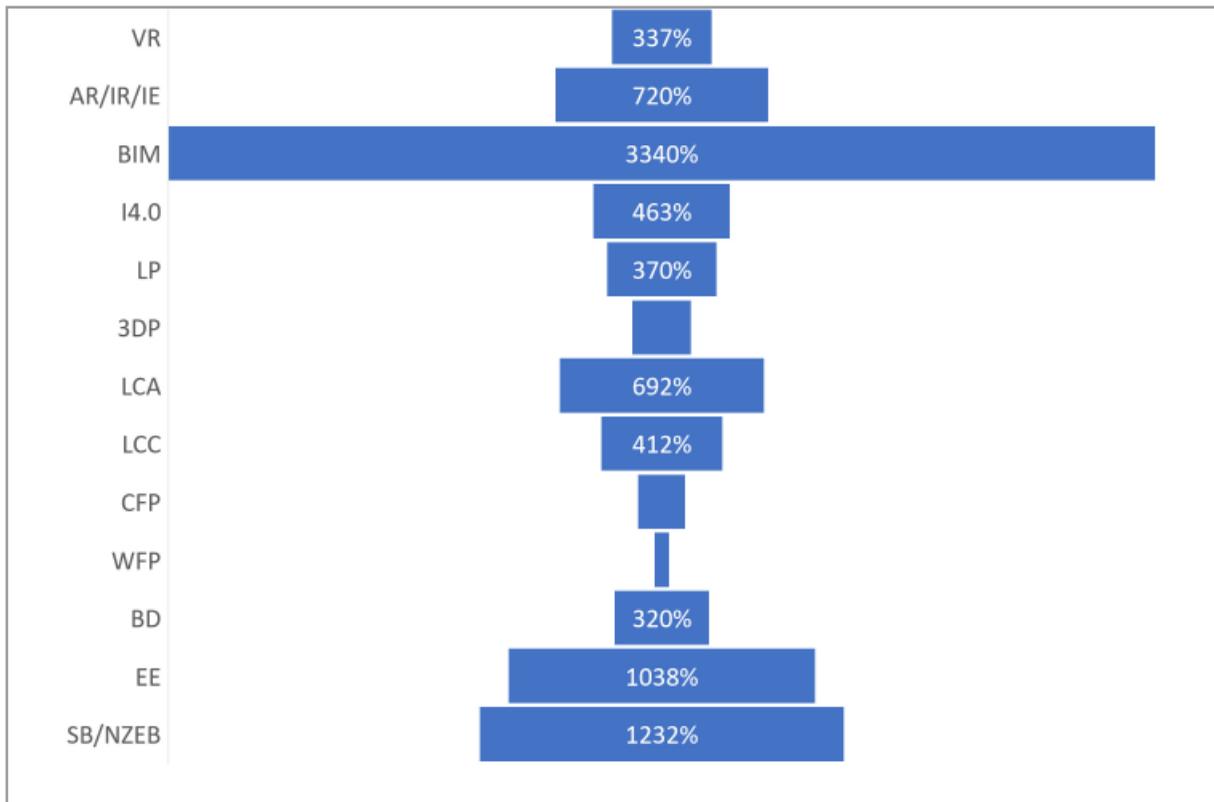


Figura 11: Diagrama de Tornado: promedio de crecimiento porcentual de los tópicos a lo largo del período de análisis considerado de los casos analizados. Fuente: Elaboración de los autores.

Referencias bibliográficas

- Azzouz, A.; Borchers, M.; Moreira, J. y Mavrogianni, A. (2017). Life Cycle Assessment of Energy Conservation Measures during Early Stage Office Building Design: A Case Study in London, UK. *Energy and Buildings*, 139, 547-568. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.089>
- Campos S. (2019). *Uso de Realidad Aumentada, Virtual y Computer Vision en Industria 4.0. Descripción de las tecnologías actuales implementadas por nuestra empresa en clientes como FCA Argentina, y ejemplos con clientes del exterior propios y de terceros*. En Conferencia Virtuality San Juan: Realidad Virtual y Aumentada, San Juan, República Argentina.
- Chastas, P.; Theodosiou, T. y Bikas, D. (2016). Embodied energy in residential buildings - towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and Environment*, 105, 267-282.
- Clarivate Analytics (2019). *Journal Citation Report*. Recuperado de: <https://clarivate.com/products/journal-citation-reports/>
- De Klerk, R.; Duarte, A. M.; Medeiros, D. P.; Duarte, J. P.; Jorge, J. y Lopes, D. S. (2019). Usability studies on building early stage architectural models in virtual reality. *Automation in Construction*, 103, 104-116.
- Ding, G. K. C. (2014). Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview. En *Eco-efficient Construction and Building Materials* (pp. 38-62). Woodhead Publishing.
- Dixit, M. K. (2017). Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79(Supplement C), 390-413.
- EN 15459 (2007). *Energy Performance of Buildings. Economic Evaluation Procedure for energy System in Buildings*.
- Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L. and Acquaye, A. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings—A review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, 232-245.
- International Organization for Standardisation (2006). *ISO 14044: Environmental Management -Life Cycle Assessment-Requirements*



Figura 12: Diagrama de barras acumuladas. Cantidad de publicaciones por t3pico en cada caso analizado, exceptuando Automation in Construction. Fuente: Elaboraci3n de los autores.

and Guidelines, pp. 1-46.

Lee, C. y Lee, E. B. (2017). A prediction method of real discount rate to improve accuracy of life-cycle cost analysis of buildings. *Energy and Buildings*, 135, 225-232. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.020>

Longo, S.; Montana F. y Sanseverino E., (2019). A review on optimization and cost-optimal methodologies in low-energy buildings design and environmental considerations. *Sustainable Cities and Society*, 45, 87-104. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.027>

Robati, M.; McCarthy, T. J. y Kokogiannakis, G. (2018). Integrated life cycle cost method for sustainable structural design by focusing on a benchmark office building in Australia. *Energy and Buildings*, 166, 525-537. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.034>

Paes, D.; Arantes, E. e Izarry, J. (2017). Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in Construction*, 84, 292-303.

Shin, S.; Jeong, S.; Lee, J.; Hong, S. W. y Jung, S. (2017). Pre-occupancy evaluation based on user behavior prediction in 3D virtual simulation. *Automation in Construction*, 74, 55-65.

Santos, R.; Costa, A. y Grilo, A. (2017). Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015. *Automation in Construction*, 80, 118-136.

Sartal, A.; Llach, J.; Vázquez, X. y de Castro, R. (2017). How much does Lean Manufacturing need environmental and information technologies? *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 260-272.

Science Direct (2019). *Journals and Books*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/>

Scimago Journal and Country Rank (2019). *Journal Rankings*. Recuperado de: <https://www.scimagojr.com/journalrank.php>

Ham, Y. y Golparvar-Fard, M. (2013). EPAR: Energy Performance Augmented Reality Models for Identification of Building Energy Performance Deviations between Actual Measurements and Simulation Results. *Energy and Buildings*, 63, 15-28. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.054>