

# TEKS DEL SUD

Publicación de periodicidad anual evaluada por pares, que contiene artículos y ensayos científicos, notas de divulgación, reseñas y entrevistas.

Apunta a expandir las voces de arquitectos, urbanistas, geógrafos, historiadores, sociólogos, antropólogos, filósofos y artistas.

El nombre de la revista responde a las acepciones "Teks del Sur" (que significa "tejer, construir") y "Sud (del sur)", integrando aquellas expresiones que miran a la arquitectura como tejidos que posibilitan el hábitat y la convivencia humana en sus diferentes escalas.

El nombre de la revista responde a las acepciones "Teks del Sur" (que significa "tejer, construir") y "Sud (del sur)", integrando aquellas expresiones que miran a la arquitectura como tejidos que posibilitan el hábitat y la convivencia humana en sus diferentes escalas.

#05-01 (2023) — #05-07 (2023) — #05-01 (2023)

La revista mantiene y fomenta como política editorial la participación de autores y miembros del equipo editorial, ajenos a la propia Universidad y unidades académicas vinculadas.

La revista mantiene y fomenta como política editorial la participación de autores y miembros del equipo editorial, ajenos a la propia Universidad y unidades académicas vinculadas.

## Clementina Palomo Beltrán (MX)

Arquitectura, gemelos digitales y realidad mixta. Un paso por la realidad física en una realidad virtual

Architecture, Digital Twins and Mixed Reality. A Walk through Physical Reality within a Virtual Reality

Doctora y maestra en ciencias en arquitectura y urbanismo con mención honorífica, Instituto Politécnico Nacional (IPN), Unidad Tecamachalco, México

Licenciada en arquitectura con mención honorífica, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México

Esta publicación adhiere a la Iniciativa de Acceso Abierto de Budapest, llevando a la práctica sus recomendaciones y definiciones

... arquitectos como posibilitadores transitorios, es decir, como actores que participan en relevos de autoría les ...

**Arquitectura, gemelos digitales y realidad mixta. Un paso por la realidad física en una realidad virtual**

Architecture, Digital Twins and Mixed Reality. A Walk through Physical Reality within a Virtual Reality

**Palabras clave**

Espacio, gemelos digitales, realidad mixta, arquitectura

**Keywords**

Space, digital twins, mixed reality, architecture

Palomo Beltrán, C. (2023). Arquitectura, gemelos digitales y realidad mixta. Un paso por la realidad física en una realidad virtual. *Teks del Sud*, 5 (1), 25-30. Salta, Argentina: EUCASA

**Fecha de recepción / aceptación**

20-02-2023 / 20-03-2023

**Tipo de contribución**

Ensayo científico

**Bio**

**Clementina Palomo Beltrán**

[palomo.clementina@gmail.com](mailto:palomo.clementina@gmail.com)

[LinkedIn](#)

**Bio**

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

**Bio**

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

Doctora y maestra en ciencias en arquitectura y urbanismo con mención honorífica por el Instituto Politécnico Nacional (IPN), Unidad Tecamachalco. Licenciada en arquitectura con mención honorífica por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey campus Estado de México.

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

Es docente en las áreas de Expresión Gráfica y Arquitectura Integral en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura unidad Tecamachalco y en la carrera de Diseño de Ambientes y Diseño de producto en la Facultad de Arquitectura La Salle, Condesa.

Entre sus publicaciones se pueden mencionar; en el año 2013 “Generación de energía a partir de métodos de propulsión humana, en vivienda urbana en la Ciudad de México”, en 2015 publicado por la Facultad de arquitectura posterior al congreso ASINEA 93 “Realidades del quehacer arquitectónico. Arquitectura sustentable y conciencia ecológica sustentable”, en 2018 colaboró en el Plan maestro de Ciudad Universitaria, en 2020 por la revista Academia XXII de la UNAM, “Percepción y desplazamiento en el espacio híbrido con Realidad Mixta” y en 2022 por la revista Arquitecturas del sur, “El espacio entre la pantalla y la arquitectura”.

Ha colaborado con diversos despachos de arquitectura, entre los más conocidos, Picciotto arquitectos, Hasbani arquitectos, Great Wolf Lodge, Grupo ISI, RL arquitectos, Space, y 3DARCH entre otros.



00

Resumen

Abstract

El objetivo del siguiente artículo es explicar la importancia del uso de gemelos digitales para transitar en una realidad mixta. Se realizó una revisión del caso Singapur y la implementación de la metodología BIM para el diseño y gestión en la construcción, con la intención de mostrar la transición cada vez más frecuente a través del espacio arquitectónico con el uso de tecnología de realidad mixta (física y virtual). Se citan como antecedentes, los aspectos que abordan el tema de las ciudades inteligentes y las ciudades del futuro.

The goal of the following article is to explain the importance of using digital twins to navigate a mixed reality. A review of the Singapore case and the implementation of the BIM methodology for construction design and management was carried out, with the intention of showing the increasingly frequent transition through the architectural space with the use of mixed reality technology (physical and virtual). The aspects that address the issue of smart cities and the cities of the future are cited as background.

01

Espacio físico y espacio arquitectónico mixto

Los programas de modelado tridimensional y de captura de la realidad con escáneres láser han permitido de forma integral realizar comparativos en los avances del desarrollo de un proyecto arquitectónico, desde la fase de diseño hasta la construcción de un edificio. Por un lado, los programas de modelado tridimensional crean una interacción visual con el usuario a partir de una maqueta virtual del espacio antes de ser construido y, por otro lado, la captura de la realidad con escáneres crea una interacción a partir de la visualización con realidad mixta de un modelo tridimensional digital (gemelo) de lo construido.

La documentación digital tridimensional de la ejecución de un proyecto arquitectónico, aunque resulta compleja es posible cuando se realizan escaneos obteniendo modelos con nubes de puntos. La relación que hoy existe entre la arquitectura, la realidad mixta y la gestión de obra con metodología BIM es cada vez más estrecha cuando a partir del escaneo se logra obtener modelos tridimensionales (gemelos digitales) de lo construido, que pueden ser analizados y visualizados en fusión con la realidad física, registrando así todos los objetos que configuran el espacio construido escaneado.

Como parte del impacto de la realidad mixta utilizada en la ejecución y gestión de los proyectos arquitectónicos, se puede decir que, en un futuro no muy lejano, el espacio se percibirá a través de aparatos como visores de realidad virtual que permitan al usuario

tener una experiencia simultánea del espacio físico con interacción en tiempo real con objetos virtuales.

Lo que define la relación entre arquitectura y la transición del espacio con realidad mixta utilizando gemelos digitales el análisis realizado durante la ejecución de la ciudad subterránea de Singapur y la implementación que actualmente se desarrolla para la administración de proyectos arquitectónicos, la aplicación de la metodología BIM.

truidos que configuran el espacio; su definición espacial está dada por las cuatro dimensiones convencionales, alto, ancho, largo y tiempo; dimensiones analizadas por Calduch (2001).

El espacio arquitectónico mixto en cambio es una combinación del espacio físico y el espacio virtual, es decir, el espacio tangible y el espacio intangible, en esa simultaneidad los elementos virtuales se perciben de forma visual y es posible interactuar con ellos en tiempo real transitando en el espacio físico. La percepción del espacio construido dentro de un espacio arquitectónico mixto (Palomo, 2021) implica un dominio de la interacción con ambas realidades (física y virtual). El concepto del espacio arquitectónico mixto cambia la concepción del espacio, la amplifica, genera nuevas posibilidades de experiencias o intervenciones en ambas realidades.

02.01. Gemelos digitales (DT)

Los gemelos digitales son modelos virtuales (Aquino, 2020), réplicas digitales mediante tecnologías computacionales de productos específicos o bien es un equivalente virtual de un sistema real (Rosen et al, 2019). La representación digital de un proceso productivo, como lo es la construcción de un proyecto arquitectónico con una metodología de administración de nueva generación (Metodología Building Information Modeling), permite tener control en el seguimiento de la obra, la operación al finalizar la construcción y en su momento la actualización o modificación de los espacios desde una maqueta virtual idéntica a la construcción física.

Los gemelos digitales son sistemas intangibles, que pueden ser visualizados en la computadora o ser parte de un sistema inmersivo de realidad mixta. Los objetos arquitectónicos construidos y escaneados durante el proceso constructivo para la generación de un gemelo digital a partir de nubes de puntos resultan ser sistemas eficientes para administrar, controlar y operar en diferentes áreas de un sistema físico real.

02.02. Nubes de puntos 3D

Una nube de puntos 3D es el primer producto que se obtiene del escaneo láser. Los puntos que son resultado del choque del láser con los elementos que configuran el espacio son representados y posicionados tridimensionalmente en el espacio virtual, estos forman con exactitud un sistema de un producto físico real que contiene información métrica sobre las superficies escaneadas (gemelo digital). La composición y densidad de puntos depende del modelo del escáner que se utilice y se le pueden incorporar datos en tiempo real.

02.03. Metodología BIM

El Modelado de información para la construcción (MIC) o bien Building Information Modeling (BIM) en inglés, es el proceso de creación y administración de la información digital de un proyecto ya sea construido o en proceso de ser edificado (Autodesk, 2023). La metodología BIM se basa en un modelo digital inteligente que se administra en una plataforma en la nube. La metodología integra de forma estructurada y multidisciplinaria información digital tridimensional, cualitativa y cuantitativa de los proyectos arquitectónicos durante todo su ciclo de vida, desde la planificación hasta la operación.

El método de trabajo que define BIM tiene como enfoque la interoperabilidad y la práctica integrada para eficientar los procesos de administración de un edificio en los procesos de diseño, gestión, construcción y mantenimiento. Este método de trabajo, integra a todos los participantes que intervienen en las diferentes fases de desarrollo de un proyecto como arquitectos, ingenieros, constructores, promotores, administradores, operadores, y establece un flujo de comunicación transversal entre ellos, generando un modelo virtual que contiene toda la información relacionada con el edificio.

La información que es integrada al modelo BIM, proviene de distintos tipos de software con diferentes especialidades, programas de modelado tridimensional, cálculo estructural, sistemas de ingeniería eléctrica, mecánica, aire acondicionado, diseño de interiores y de plomería (MEP), software de presupuestos, análisis de comportamiento energético, etc. El conocimiento de todas estas herramientas y de la capacidad de interoperabilidad entre ellas, es fundamental para la correcta implementación de la metodología.

Para realizar una aplicación correcta de la metodología se realiza un Plan de ejecución BIM [Execution plan (BEP)]. El Plan de ejecución BIM es una herramienta funcional de referencia para la administración y definición del nivel de detalle y sirve para sincronizar el flujo de trabajo, desde la planificación del proyecto hasta la gestión de la construcción.

Parte de la metodología BIM se realiza una fase llamada SCAN TO BIM, concepto asignado al proceso de creación de un modelo tridimensional (gemelo digital) a partir de datos de nube de puntos o bien un gemelo digital realizado para el análisis o visualización virtual (Autodesk, 2023).

02

### Arquitectura, gemelos digitales y realidad mixta. El caso de Singapur y su planeación de la ciudad subterránea a partir de gemelos digitales

La arquitectura a través de la historia ha sido configurada y manipulada a partir de las necesidades del usuario, sin embargo, los arquitectos y cineastas han explorado a través de la ficción la arquitectura del futuro. El cineasta Stanley Kubrick y el escritor Arthur Clarke visualizaron un futuro en el que los astronautas interactuaban con la computadora Heuristically Programmed Algorithmic Computer (HAL) 9000 (2001: *Odisea del espacio*), la computadora tenía la capacidad de administrar el funcionamiento de la nave Discovery, mismo objetivo que tiene la implementación de la metodología BIM a través de los gemelos digitales.

El término “digital twins” fue introducido por Michael Grieves y John Vickers en el año 2002 durante una presentación en la Universidad de Michigan (López, 2015). Grieves y Vickers presentaron la posibilidad de crear representaciones digitales de sistemas físicos. La primera definición formal fue dada por la NASA en 2010: “Un gemelo digital es una simulación integrada multifísica, multiescala y probabilística de un vehículo o sistema que usa los mejores modelos físicos, actualizaciones de sensores, historial de flota, etc., para reproducir la vida de su gemelo volador”. En 2017 el concepto “digital twins” es retomado por KPMG (2017) en “Beyond the hype. Separating ambition from reality in i4.0” para el análisis industrial y es marcado como parte del desarrollo tecnológico en la cuarta revolución industrial para la transformación en los procesos de diseño industrial.

En la actualidad el gemelo digital (DT) es una tecnología emergente, brinda una forma prometedora de conectar e integrar los espacios físicos y virtuales sin problemas, para resolver de manera eficiente asuntos relacionados con el diseño, operación, mantenimiento y seguridad. Los DT permiten trabajar en un sistema que puede prever virtualmente todo lo que sucederá en el mundo físico. En el área de la ingeniería y arquitectura, los gemelos digitales son útiles cuando realizan un historial detallado del modelo anterior, es decir, llevan un seguimiento en el avance de la obra.

Según Zhang (2020), la necesidad de tomar decisiones oportunas para satisfacer los intereses competitivos de eficiencia, calidad y costo, y al mismo tiempo cumplir con las estrictas expectativas de las operaciones industriales actuales van más allá de las capacidades de muchas instalaciones. La madurez de los proyectos de desarrollo digital, como la internet de las cosas, la infraestructura en la nube, los entornos de realidad mixta y las herramientas de inteligencia artificial ayudan a muchas empresas a crear gemelos digitales.

La realidad mixta y los DT son un punto de partida ideal para la conectividad y la potencialización de la eficiencia en la realización de las actividades dentro de los espacios arquitectónicos. La realidad mixta potencializa la experiencia dentro de los espacios arquitectónicos (Palomo, 2021), en un futuro no muy lejano el uso de los gemelos digitales como punto de partida para entrenar trayectos a través de espacios interiores y exteriores se realizará con mayor eficiencia, dado que los contenidos de los gemelos digitales son detallados y permiten la visualización total a la escala deseada.

El 12 de febrero del 2015 el periódico “Today Online” publicó sobre la ley propuesta por el gobierno singapurense para adquirir un estrato de tierra subterráneo bajo el Parque Kent City (Fig.1), la propuesta expuso el uso extenso del espacio subterráneo y ocupar el espacio disponible en la superficie para proyectar parques, áreas verdes, la propuesta concluyó en una ley que establece que cualquier superficie de tierra y la columna debajo de ella es para uso y disfrute del propietario.

Singapur es una ciudad inteligente, resiliente y sostenible, planificó y optimizó el uso del suelo para desarrollar “La ciudad de la ciencia subterránea”. La ciudad de la ciencia se construyó con 40 cuevas conectadas con laboratorios y centros de datos, albergó hasta 4.200 científicos en unas instalaciones de 300.000 metros cuadrados, a una profundidad de 80 metros (Fig. 2). La comprensión espacial del subsuelo, sobre todo el conocimiento de la infraestructura fueron determinantes para una construcción eficiente de la ciudad subterránea (López, 2023).

De acuerdo con los requerimientos se escanearon con un radar de penetración terrestre 3D (RPT) y digitalizaron nueve áreas clave para obtener un gemelo digital de la infraestructura. Se realizaron escaneos durante una semana para las siguientes ciudades: Woodlands, Camberra, Punggol, Sengkang, Ang Mo Kio, Toa Payoh, Raffles Blvd, Marina Blvd y Utown, NUS (Van Son, 2018).

El procesamiento de datos obtenidos del RPT da una parte de la información que se necesita para generar un modelo 3D de las



Fig. 01. Ciudad de la Ciencia subterránea de Singapur. Sección. Fuente: López, A. (2023)

### Finding space for the future

To use our space more efficiently, the Government is looking to launch its Underground Master Plan in 2019. Here are some subterranean ideas that are being explored.

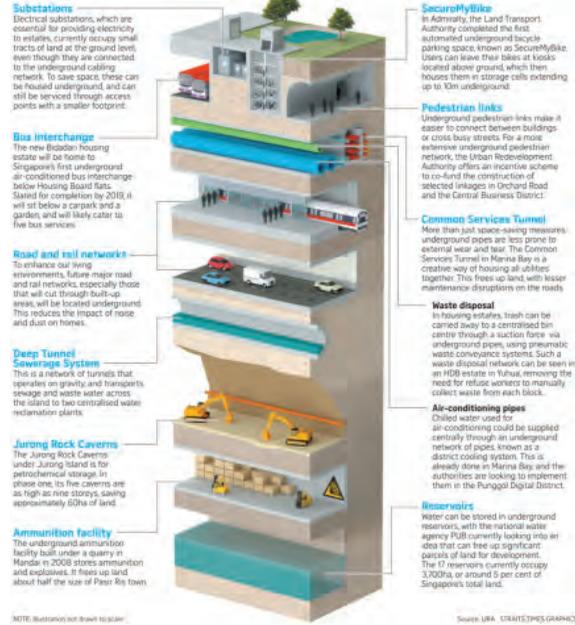


Figura 3. De arriba hacia abajo: Visualización de las líneas de instalaciones subterráneas con RPT de las zonas escaneadas en Singapur; unión de maqueta digital de la ciudad con nube con el gemelo digital de las instalaciones existentes en la ciudad de Singapur; visualización del gemelo digital de las instalaciones subterráneas con realidad mixta. Fuentes: Van Son (2018) y CNA (2019)

Figura 2: Plan maestro 2090 de la ciudad subterránea de Singapur. Fuente: citio (2018)

instalaciones subterráneas. Los datos obtenidos con el GPR no clasifican ni el tipo de material ni el diámetro de cada tubería. El procedimiento que se sigue para la clasificación es unir la información escaneada y los planos “as built”, es decir, con los planos finales después de la ejecución de la obra (Fig. 3), también deben incluirse, planos de instalaciones recién construidas. La información es analizada en un software especializado y clasificada por geólogos, ingenieros y arquitectos para generar finalmente un gemelo digital. La responsabilidad que conlleva la planeación de un proyecto como el de la ciudad subterránea de Singapur requirió que los urbanizadores, planificadores e ingenieros tuvieran la mayor cantidad de información posible utilizando equipos especializados que les permitieran el análisis de la mayor información posible de toda el área de intervención.

Los gemelos digitales y los modelos tridimensionales realizados de la ciudad previa a los levantamientos de las vialidades son georreferenciados y en esa fase puede ser implementada la metodología BIM. De tal forma que se obtiene un modelo con la posibilidad de visualizar el terreno levantado con el RPT donde las estructuras colindantes aparecen incluyendo toda infraestructura de servicios subterráneos.

En conjunto un gemelo digital, la implementación BIM y la supervisión de la obra con realidad mixta otorgó al desarrollo de la ciudad subterránea de Singapur un contexto ideal y nutrido de información para planificar y ejecutar cambios potenciales (Fig. 3). La planificación realizada a partir de un modelo con interoperabilidad como lo es la metodología BIM permite la colaboración definida de todos los involucrados.

La relación que existe entre la arquitectura, los gemelos digitales y la realidad mixta en las actividades cotidianas futuras, es estrecho y abre muchas posibilidades para potencializar las experiencias a través de los trayectos y a tener documentado el conocimiento total de las edificaciones.

Los gemelos digitales permiten a arquitectos, ingenieros y otros a obtener más información y el modelo es susceptible a ser retroalimentado y evaluado en diferentes etapas del desarrollo del proyecto. El modelado tridimensional con base en un gemelo digital deja de ser sólo un volumen para convertirse en un modelo funcional que puede ser utilizado como referencia para transitar de forma segura y eficiente a través del espacio arquitectónico con realidad mixta.

## 04

### Conclusiones

El caso Singapur es un ejemplo de éxito cuando se trabaja con gemelos digitales, arquitectura (en este caso la planeación urbana) y la metodología BIM. El impacto de la tecnología no sólo afecta la configuración del espacio, ahora impacta en la percepción del espacio urbano y arquitectónico (Palomo, 2021) y en consecuencia en un futuro no muy lejano la transición cotidiana a través de todos los espacios será una realidad mixta.

Abordar desafíos con un enfoque físico virtual para respaldar el diseño urbano arquitectónico refuerza teorías, métodos y herramientas del diseño tradicional y abre oportunidades para el diseño inteligente futuro en otro plano (realidad virtual) generando un espectro amplio de posibilidades en los ambientes cotidianos dentro del espacio arquitectónico físico.

En conclusión, los gemelos digitales como punto de partida para mejorar, modificar, intervenir y diseñar espacios con realidad mixta serán útiles y necesarios en un futuro cercano. El espacio debe intervenir desde una esfera de información más amplia, para producir espacios menos erróneos que distingan la visión del espacio arquitectónico mixto. Por ello, la arquitectura del futuro debe ser concebida diseñando el espacio arquitectónico mixto (Palomo, 2021). La práctica de la arquitectura debe conducir a la posible vivencia del espacio del espacio físico con la intervención en tiempo real de objetos tridimensionales. La tecnología de realidad

mixta en colaboración con los gemelos digitales implementados en la metodología BIM, se han convertido en un terreno explorado y comprobado como interfaz eficiente en el sector de la construcción. En este sentido, los tres elementos pueden ser utilizados como un sistema para el diseño potencializado.

05

## Bibliografía

*Desafíos globales: Población* (2023). Organización de las Naciones Unidas ONU. Recuperado de <https://www.un.org/es/global-issues/population>

Álvarez-Vallejo, A. (2016). Percepción visual. Una discusión urbana y arquitectónica. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 1(19). Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/4779/477951060008/477951060008.pdf>

Aquino, J. (2020). Los gemelos digitales, la última frontera de la ingeniería Mecatrónica. En *X Simposio internacional de investigación multidisciplinaria*, Tabasco, México. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/348850216\\_Los\\_gemelos\\_digitales\\_la\\_ultima\\_frontera\\_de\\_la\\_Ingenieria\\_Mecatronica](https://www.researchgate.net/publication/348850216_Los_gemelos_digitales_la_ultima_frontera_de_la_Ingenieria_Mecatronica)

Diseño y construcción con BIM. Modelado de información para la construcción (2023). Autodesk. Recuperado de <https://www.autodesk.mx/solutions/bim>

Calduch, J. (2001). Temas de composición arquitectónica: espacio y lugar. España: ECU.

CITI I/O. (2018). Masterplan of Singapore's Underground Spaces Ready by 2019. Recuperado de <https://citi.io/2018/02/06/master->

[plan-of-singapores-underground-spaces-ready-by-2019/](https://www.citi.io/2018/02/06/master-plan-of-singapores-underground-spaces-ready-by-2019/)

Channel New Asia (2019). Land unlimited, 1 (1) *Underground dreams*. Recuperado de <https://www.channelnewsasia.com/watch/land-unlimited/underground-dreams-1518881>

*Nube de puntos: Qué es y para qué sirve* (2018). Dronica. Recuperado de <https://www.dronica.es/blog-de-escaneo-3d/nube-de-puntos-que-es-y-para-que-sirve/>

*Gemelos digitales, claves para la cuarta revolución industrial* (2023). Iberdrola. Recuperado de <https://www.iberdrola.com/innovacion/gemelos-digitales>

Gates, D., Bremicker, M. (2017). *Beyond the Hype. Separating Ambition from Reality in i4.0*. Suiza: KPMG International. Recuperado de <https://kpmg.com/xx/en/home/insights/2017/05/beyond-the-hype-separating-ambition-from-reality.html>

López, A. (2023). *Rascasuelos y ciencia subterránea para hacer más habitable el planeta*. Madrid, España: Sacyr. Recuperado de <https://www.sacyr.com/-/rascasuelos-y-ciencia-subterranea-para-hacer-mas-habitable-el-planeta>

López, E. (2015, septiembre 5). *Digital Twins. La cuarta revolución industrial*. Parque Científico Tecnológico, Universidad Autónoma de Sinaloa. Recuperado de <https://innovacion.uas.edu.mx/digital-twins-la-cuarta-revolucion-industrial/>

Meng, Z., Fang, Y., Sui, A., Fei, T., AYC, N. (2020). *Diseño inteligente impulsado por gemelos digitales*. Science Direct. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580520300014>

Metrologic group (2020). *Inspección de nube de puntos*. Metrologic group. Recuperado de <https://www.metrologic.group/es/inspeccion-de-nube-de-puntos/>

Palomo, C. (2021). *Impacto de la realidad mixta en la percepción del espacio arquitectónico* (tesis doctoral). Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/29400>

Rosen, R., Fischer, J., Boschert, S. (2019). Next Generation Digital Twin: an Ecosystem for Mechatronic Systems? *IFAC Papers OnLine*, 52 (19). Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.685>

Shafto, M., Et. Al. (2010). Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap (draft). *Technology Area 11*. Washington DC: National Aeronautics and Space Administration NASA. Recuperado de [https://www.nasa.gov/pdf/501321main\\_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf](https://www.nasa.gov/pdf/501321main_TA11-MSITP-DRAFT-Nov2010-A1.pdf)

*Proposed Law will Allow Government to Acquire Specific Stratum of Underground Space* (2015, febrero 12). Mediagroup Today. Recuperado de <https://www.todayonline.com/singapore/proposed-law-will-allow-govt-acquire-specific-stratum-underground-space>

Zhang, Y. (2020, abril 8). Gemelos digitales: Una herramienta

disruptiva para enfrentar los desafíos actuales. HATCH. Recuperado de <https://www.hatch.com/es-cl/About-Us/Publications/Blogs/2020/04/Digital-twin-a-disruptive-tool-to-meet-todayschallenges>