

# Digital Twins en Rapa Nui

## Una nueva mirada a la arquitectura y tecnología asociada a futuros proyectos en la isla

**Estudiante:** Juan Pablo Meniconi Muñoz

**Profesor guía:** Nora de la Maza Cabrera

### Resumen

El objetivo de este artículo es plantear los beneficios del uso de *Digital Twins* en Rapa Nui, una nueva herramienta de modelado 3D interactiva con información en tiempo real con el fin de mejorar el diseño, desarrollo y visualización de proyectos. La idea surge a raíz de las nuevas iniciativas del Decreto de Ley 436, que fue inspirado en un estudio reciente sobre la carga demográfica de la isla, el cual determinó que se encuentra gravemente saturada.

Se analizó el estado de arte de esta tecnología y se identificaron diferentes casos de estudio que ya la implementan, entendiendo así su potencial en territorios como la Isla de Pascua. Mediante entrevistas a expertos, se buscó reconocer la factibilidad para dar cuenta de su posible integración. La investigación permite concluir que la isla podría verse beneficiada al implementar *Digital Twins* en futuros y/o actuales proyectos arquitectónicos, generando predicciones en planificación y gestión digital inteligente.

**Palabras clave:** Digital Twins, Rapa Nui, modelos 3D interactivos, real-time data, gestión digital inteligente

### 1. Introducción

La Isla de Pascua o Rapa Nui (en idioma rapanui significa, "Isla Grande"), es una isla chilena ubicada en el Océano Pacífico, sobre el extremo más oriental de la Polinesia. Es considerado uno de los lugares más aislados del mundo, a unos 3.800 km de distancia del territorio continental americano.

Durante las últimas décadas la isla se ha visto afectada por múltiples problemas debido al exponencial incremento del turismo, la explotación de recursos y la deficiente proyección del progreso del territorio, siendo los más críticos la energía eléctrica; ocupación urbana y vivienda; residuos sólidos; cobertura de salud y educación; sobrepoblación de ganado; escasez de peces; entre otras decenas de variables (DPP de Isla de Pascua, 2020).

En Rapa Nui ya se comenzó a prestar mucha atención a la generación de energía más limpia para un futuro sostenible, pero eso es sólo una pieza del rompecabezas. ¿Qué tal si pudiéramos reducir drásticamente nuestro consumo de energía o

mejorar la planificación urbana y territorial solo con interpretar mejor la información sobre lo que diseñamos, construimos y posteriormente, operamos en nuestros edificios y viviendas?, y de ser así, ¿Habría alguna herramienta digital que pueda ayudarnos hoy a lograrlo? Pues sí existe y está cambiando el paradigma de la arquitectura del siglo XXI: los *Digital Twins* (o gemelos digitales). Una nueva solución para el análisis de proyectos y la optimización de modelado 3D. Pero, ¿qué son exactamente los gemelos digitales?

En su definición más simple, un *Digital Twin* (conocidos también como DT) es un modelo 3D de una entidad física, con la animación del modelo tridimensional impulsada por los datos vivos de la entidad real (Weir-McCall, 2021).

Según la plataforma Engineering (2021), los gemelos digitales están a punto de convertirse en una herramienta informática clave para muchas industrias y en especial para el sector de arquitectura, ingeniería y construcción (conocido por la sigla AEC en inglés). Los *Digital Twins* se encuentran, junto con la inteligencia artificial (AI) y el *machine learning* (ML), entre las 10 principales

tendencias tecnológicas estratégicas. Si la renombrada metodología BIM (*Building Information Management*) es la tecnología más eficiente para gestionar de manera inteligente todo el ciclo de vida de un proyecto, los *Digital Twins* son el siguiente paso. Un gemelo digital no solo influye en la fase de diseño y la construcción, sino que por sobre todo, en las operaciones de esa entidad durante todo su ciclo de vida. Esto es gracias al flujo de información en tiempo real que existe entre el gemelo físico y el gemelo digital. Es un hecho que, mientras más información exista, mejor será el resultado de estos modelos.

Hoy en día, los expertos enfatizan en lo trascendental que debe ser aterrizar este tipo de tecnologías de información a problemáticas en la actualidad. El creador de Scale AI, Alexandr Wang, teme que con la inteligencia artificial *“miremos muy adelante en el futuro, casi 2-3 décadas más allá, sin enfocarnos antes en los problemas que tenemos en el presente”* (Wang, 2022). Michael Grieves, ingeniero informático y creador del concepto de los *Digital Twins* en 2003, también resalta la importancia de *“no exagerar la necesidad de utilizar gemelos digitales porque simplemente son la nueva tecnología, o incluso llegar a implementarlos con variables no tan controlables”* (Grieves, 2022), ya que no ayuda directamente a la causa. Su uso debe ser impulsado por casos y desafíos reales, con necesidades actuales y variables más controlables por el ser humano, tal como las que hay en la Isla de Pascua.

Es por esta razón que la presente investigación se centra en la búsqueda de soluciones dentro del ámbito tecnológico para poder resolver actuales problemas arquitectónicos, territoriales e incluso urbanísticos, que influyen directamente en el nivel y calidad de vida, tanto para los isleños e isleñas como también de los y las turistas.

Actualmente, Rapa Nui se encuentra en un foco de atención en función de los estudios de capacidad de carga y crecimiento demográfico que se están realizando constantemente. Esto ha ocasionado una fuerte discusión generalizada por parte de sus habitantes, ya que desde hace mucho tiempo exigen que el estado chileno pueda proporcionar una inversión sustancial para enmendar la situación crítica en la que se encuentran. De esta manera, se busca proteger este territorio proyectando su desarrollo de manera sostenible a través de una correcta planificación territorial y gestión digital inteligente de los futuros proyectos en la isla.

## 2. Antecedentes

En la era tecnológica en que vivimos, los datos representan el valor más importante. No es solo por el valor de la información en sí misma, sino por el enorme potencial que se puede explotar de esos datos. Cálculos, simulaciones y modelos predictivos son solo algunas de las herramientas que nos permiten entender y evaluar el presente, y más importante aún, prepararnos para tomar decisiones de cara al futuro.

Al comienzo de la investigación, en una conversación con Alejandra Cortés, investigadora y docente dedicada a la eficiencia energética, se destacaron varias temáticas en torno a soluciones sustentables de planificación urbana y territorial. Una de éstas fue la utilización de herramientas de información y la envergadura del valor de ellas en un territorio como Rapa Nui. La académica, en reiteradas ocasiones ha guiado seminarios de investigación ligados a los problemas de la isla, tales como: ‘La huella hídrica de Rapa Nui enfrentada desde la vivienda’ (Ramírez, 2017), y ‘Energías Renovables No Convencionales en el territorio insular: necesidad de autosuficiencia y sostenibilidad energética en los territorios insulares de Chile’ (Osses, 2015). En este último en particular, se destaca en las conclusiones de la investigación que:

*“La arquitectura debe tener plena conciencia de la importancia de las Energías Renovables No Convencionales (ERN) para el futuro sostenible en zonas insulares, integrando las instalaciones energéticas a la trama urbana y la construcción, que procura edificaciones nuevas y rehabilitadas, formalizando la eficiencia y el ahorro energético (...)”* (Osses, 2015).

Esta premisa fue uno de los puntos de partida claves para comenzar a estudiar en profundidad lo que ocurría en Rapa Nui, solo que en vez de haber dirigido la investigación meramente a temas de energía, se amplió el espectro a una visión general de lo que sucede en el ámbito territorial y urbano. Para entrar a discutir sobre la implementación de una herramienta como los *Digital Twins* en la isla, es necesario entender en primera instancia de que su uso hipotético, sólo podría llegar a tener éxito si existiese un grado de colaboración y cohesión mutua entre el gobierno, profesionales de diversas disciplinas, las autoridades locales y sus habitantes.

Es por esta razón, que es importante recalcar la importancia de sensibilizar el uso de una nueva arquitectura potenciada por el uso de la información, con el fin de proporcionar un trabajo equilibrado y más inteligente sobre los futuros proyectos en el territorio, así como también para ayudar a reparar los daños causados por gestiones deficientes en el pasado.

*"Con el tiempo, las representaciones digitales de todos los aspectos de nuestro mundo se conectarán dinámicamente con sus homólogos del mundo real y entre sí se infundirán con capacidades basadas en inteligencia artificial para permitir la simulación, el funcionamiento y el análisis avanzado" (Gartner, 2018).*

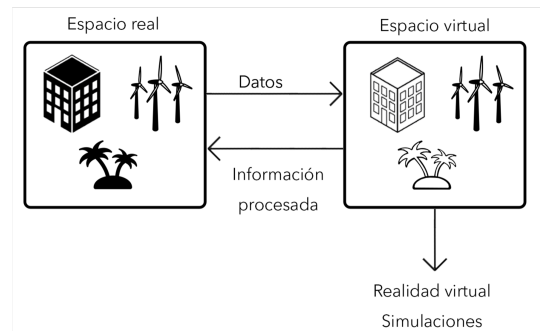
## 2.1. Digital Twins: origen y propósito

En su definición más básica, los *Digital Twins* son modelos 3D de entidades físicas que realizan una animación permanente impulsada por los datos en vivo de las entidades reales. Una entidad física genera datos en tiempo real sobre sus propias operaciones y utiliza sensores de dispositivos de *Internet of Things* (IoT) para recopilar datos en vivo sobre las actividades a su alrededor. Cuando estos datos alimentan la réplica digital, se mueven y funcionan como si fueran reales, brindándole información visual instantánea sobre sus procesos. Los datos recopilados se pueden usar para calcular métricas de cualquier tipo: velocidad, trayectoria, uso de energía, resistencia, temperatura, entre otras.

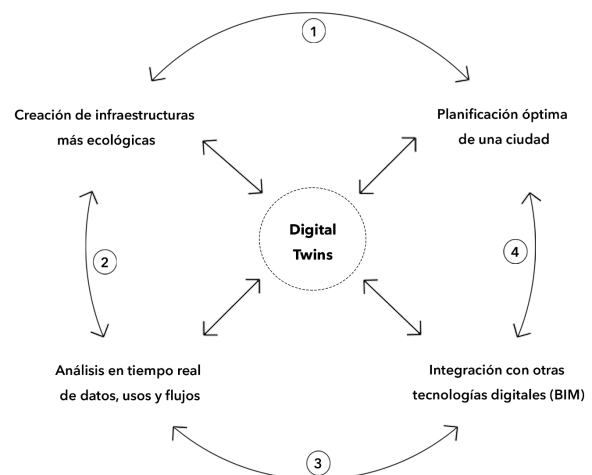
Para la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción, un gemelo digital integra datos en tiempo real de un activo construido (casa u edificios) con su representación digital (modelo 3D), creando así conocimientos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, incluso después de ser levantado. Esta tecnología brinda vistas multidimensionales sobre cómo diseñar un proyecto, ya que al estar conectado a múltiples fuentes de datos en su contexto, puede predecir cómo funcionará más adelante respecto a su entorno inmediato. Se pueden medir el comportamiento de los ocupantes, patrones de uso de las instalaciones, la utilización del espacio, entre muchas variables más.

Los gemelos digitales ofrecen un medio para probar escenarios hipotéticos, que incluyen el impacto de los cambios de diseño, las interrupciones climáticas y los eventos de seguridad en caso de emergencias. Con el poder de la información, los proyectos se pueden llevar a un siguiente nivel.

Según Hagg and Anderl (2018), un DT consta de tres dimensiones: (a) el producto físico en el espacio real, (b) el producto virtual en el espacio virtual, (c) el enlace de datos bidireccional. La figura 1 ilustra las tres dimensiones de un *Digital Twin* y muestra a simples rasgos cómo funciona la integración entre ellas.



**Fig. 1:** Re-interpretación del concepto de *Digital Twins* instaurado por Grieves en 2001 (Tomczyk, 2022). Fuente: Elaboración propia.



**Fig. 2:** Esquema con los propósitos principales de los DT en torno al sector de AEC. Fuente: Elaboración propia.

Los *Digital Twins* funcionan para una variedad de propósitos (Fig. 2). Con la información que brindan, tanto en números como visualmente, ayudan a los diseñadores, arquitectos, ingenieros y otros profesionales de diferentes industrias a visualizar estructuras y sistemas de formas nunca antes vistas. Los patrones discernibles que no se pueden ver con el análisis tradicional, pueden surgir a través del uso de gemelos digitales, lo que lleva a comprender cómo mejorar la eficiencia, y a la vez, el diseño.

En el caso de la planificación urbana, tener una vista panorámica de los patrones de tráfico, junto con datos precisos al milisegundo sobre el cambio de este y las señales peatonales, puede ayudar a los urbanistas a analizar patrones de una manera única.

Un gemelo digital necesita, como base:

- 1) Una entidad física que genera datos en tiempo real sobre sus operaciones, o que utiliza sensores de IoT para recoger datos en tiempo real sobre las actividades a su alrededor.
- 2) Un modelo 3D de la entidad física.
- 3) Un flujo de datos en directo desde la entidad física hasta el modelo 3D.
- 4) Un mecanismo basado en software para hacer que el modelo 3D actúe visiblemente como la entidad física, basándose en los datos en vivo recibidos.

El mismo gemelo digital de las vías de una ciudad, puede ayudar a informar sobre la viabilidad de agregar un nuevo centro comercial o un edificio de oficinas en cierta esquina, como también si una nueva rampa de salida de la autopista podría reducir la congestión en el centro. El poder de los gemelos digitales radica entonces en la capacidad de visualizar múltiples fuentes de datos en un solo modelo.

Los *Digital Twins* brindan formas de optimizar el tiempo y el dinero a través del monitoreo y análisis de activos, procesos y flujos de trabajo. Con el correcto uso de este tipo de herramientas, se pueden realizar proyectos que contemplen una gran variedad de variables, que antes ni llegaban a considerarse, trayendo con ello enormes beneficios. *“La tecnología en tiempo real permite que todos vean lo mismo y tomen decisiones más rápidas”* (Vee, 2021).

## 2.2. Niveles de Digital Twins y su aplicación a la arquitectura

Los gemelos digitales por sí solos, ofrecen nuevas perspectivas y sirven diferentes propósitos a partir de la recopilación de datos, para posteriormente experimentar con ellos y exponer escenarios multifuncionales en los distintos ámbitos sobre los cuales pueden ser aplicados. La industria automotriz y la aeronáutica son algunos de ellos, sin embargo, dentro de poco se espera que dentro de la arquitectura y construcción sean el estándar, pues representan una herramienta para analizar proyectos

en tiempo real, llegando a predecir con eficacia comportamientos de las edificaciones en un futuro.

Para alcanzar el máximo potencial de los *Digital Twins* es necesario manejar modelos interdisciplinarios, en conjunto con una correcta incorporación de diversos datos, por lo que trabajar a la par con BIM es la vía más eficaz para su creación. La fusión de datos con nuevos sensores y representaciones virtuales potenciadas entre ambos, puede lograr un eficiente flujo de trabajo e integración de sistemas para un resultado aún más óptimo. El BIM por su parte, incorpora datos producidos durante las fases de planificación y diseño, mientras que los *Digital Twins*, incrementan enormes cantidades de información en el transcurso de las fases de construcción y operación. De esta manera, ambos sistemas se apoyan de forma mutua y constante, fomentando aún más la metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de proyectos.

Acorde a la clasificación oficial de Autodesk, actualmente existen cinco niveles de gemelos digitales. Dependiendo del grado digital que posean, se ordenan de menor a mayor:

- **Nivel 1 - Gemelo descriptivo**  
Se trata de una réplica visual utilizando los datos de construcción y diseño en vivo.
- **Nivel 2 - Gemelo informativo**  
Posee mayor nivel de sensores y datos de operaciones para recopilar antecedentes en indeterminados momentos.
- **Nivel 3 - Gemelo predictivo**  
Además de capturar datos, es capaz de contextualizarlos y analizarlos para identificar potenciales problemas.
- **Nivel 4 - Gemelo integral**  
Utiliza una avanzada simulación y modelado para intuir probables situaciones futuras, análisis y sugerencias prescriptivas.
- **Nivel 5 - Gemelo autónomo**  
Tiene la suficiencia para tomar decisiones por medio de inteligencia artificial con el uso de algoritmos, simulaciones y visualizaciones en 3D.

Uno de los usos más destacados de esta nueva tecnología, es la planificación e infraestructura de ciudades. Podemos encontrar diversas situaciones reales en el mundo de cómo se han ido

implementando. Por ejemplo, en la ciudad de Shanghái, China, se implementaron los *Digital Twins* con el fin de monitorear todo lo que sucede en la urbe, desde construcciones de puentes hasta el mantenimiento de ellos. Esto ha sido de enorme ayuda para la simulación y preparación de futuros desastres. En Adelaida, Australia, se fabricó un modelo a escala de la ciudad con la finalidad de que los expertos urbanistas puedan detectar problemas antes de que acontezcan. Dentro de Nueva Zelanda, Build Media está construyendo con éxito un gemelo digital de la ciudad de Wellington, con el fin de mostrar la multitud de actividades en tiempo real a través de una plataforma interactiva en la que se logre mejorar la toma de decisiones.

En América del Norte, precisamente en Tampa (Florida), IMERZA realizó la unión entre un modelo físico a escala de la ciudad e imágenes proyectadas en 360°, que contienen los planes de crecimiento de la ciudad en 3D. Esta fusión, junto al anexo de datos sobre bienes raíces y sistemas geográficos, generan información sobre futuras rentas, además de estadísticas de tráfico real y esperado.

En Europa, específicamente en Milán, Italia, se está construyendo en el antiguo emplazamiento de la Expo 2015 el nuevo Distrito de Innovación de la ciudad, más conocido como MIND. Su gemelo digital será el primero de su clase en el país, el cual rastreará y ayudará a controlar las emisiones de carbono.

Actualmente, uno de los principales precursores de instaurar los gemelos digitales en todas las áreas, es el Reino Unido. Una de sus metas iniciales es construir un ecosistema entre empresas para la obtención y distribución de datos de manera más eficaz. El objetivo es lograr que las ciudades lleguen a un nivel nulo de emisiones de carbono. Sarah Hayes, británica experta en *Digital Twins*, cree que la tecnología de gemelos digitales podría desempeñar un papel crucial para ayudar a las ciudades a alcanzar las emisiones netas de carbono cero (Dezeen, 2021). "Se trata de juntar esa información para poder comprender mejor el panorama general y creo que los gemelos digitales son el camino para hacerlo" (Hayes, 2021).

Es evidente que en todo el mundo ya se están comenzando a dar los primeros pasos en programas pilotos de *Digital Twins*. Por lo mismo, existe un momento único para Latinoamérica y particularmente en nuestro país, para adentrarse en el camino hacia el desarrollo de estas nuevas

tecnologías. Según Grieves (2022), para esto "sería conveniente poder seleccionar un territorio con las necesidades y características específicas para introducir los gemelos digitales en el país".

### 2.3. Rapa Nui: contexto actual

En el sector insular de la Región de Valparaíso se encuentra la Isla de Pascua, con una superficie de 163,6 km<sup>2</sup> y 25 kilómetros de un extremo al otro. De acuerdo con el último Censo de Población y Vivienda realizado en el año 2017, la población actual es de 7.750 habitantes y recibe 80.000 turistas al año aproximadamente. Pertenece a la República de Chile como "territorio especial", por lo que su gobierno y administración estarían regidos por un estatuto especial que hasta la fecha sigue sujeto a modificaciones importantes.

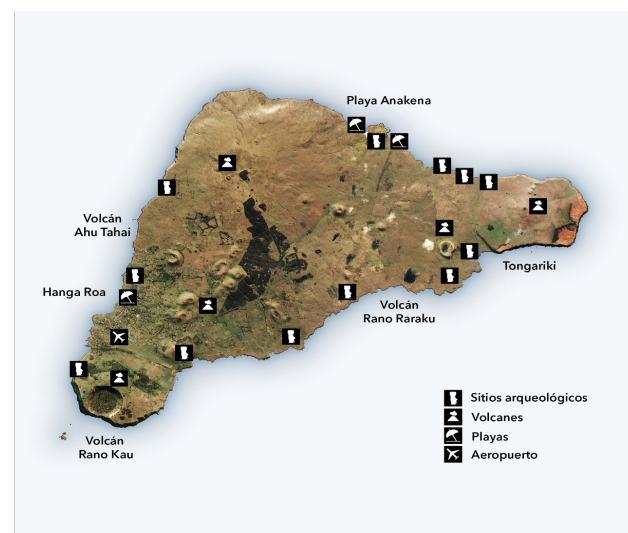


Fig. 3: Mapa de hitos en Rapa Nui. Fuente: Elaboración propia.

Acorde a la Fundación Terram (2012), Rapa Nui hace 10 años atrás producía en promedio 20 toneladas de basura al día y su planta de reciclaje procesaba solo 40.000 botellas de plástico cada mes. Toda generación de energía era en base a combustibles fósiles, por lo que su desarrollo sostenible era muy bajo. El exceso de pesca siempre fue un problema, ya que el atún y langostas de la isla siempre fueron muy preciados en el continente. Tampoco existía ningún sistema de alcantarillado puesto que la construcción de uno era realmente inviable, debido al elevado coste económico de la excavación en roca

y el alto coste medioambiental. Una situación generada porque la mayor parte del territorio insular contiene zonas con restos arqueológicos. La proliferación de inodoros de pozo negro y la fundada sospecha de que éstos filtran excrementos a las napas, única fuente de agua para consumo humano en la isla, mantenían al pueblo rapanui al borde de una inminente crisis.

Debido a esta crítica situación que enfrentaba la Isla de Pascua desde hace décadas, la Pontificia Universidad Católica de Chile, a través de un estudio liderado por Roberto Moris y Kay Bergamini, elaboró entre los años 2016 a 2018 el reconocido Modelo de capacidad de carga demográfica para el territorio de Isla de Pascua (MCCIP). Se consideró el crecimiento exponencial de la población, turistas y residentes para definir 21 variables elementales para erradicar la actual situación, teniendo como objetivos alcanzar un equilibrio ambiental, una calidad de vida óptima para sus habitantes y visitantes, además de una correcta conservación de la cultura y protección de su patrimonio natural y cultural. Variables como la población, el medio ambiente, la economía y el entorno socio-cultural forman un sistema global en el que se encuentra inserta la isla.

El 3 de mayo del año 2019 se declaró a Rapa Nui en estado de 'Latencia' por carga demográfica, es decir, ni los servicios ni la infraestructura es capaz de sostener el aumento sucesivo del lugar. El Índice Pascua (más conocido como IPA) era de 0,84 para ese entonces. Este índice se generó como un indicador general e integrado, con un valor único representativo de la condición general de la isla, proyectable en el tiempo y a partir del cual se puede obtener la población máxima que puede residir en la isla, en consideración a sus características ambientales y socio-culturales especiales.

A raíz del modelo propuesto por el MCCIP, se pueden dividir 12 variables en total, comprendidas en 3 categorías de estado de capacidad de carga demográfica de la isla, basándose en su actual puntaje IPA de manera individual:

- a) **Estado óptimo (IPA entre 0 y 0,729)**  
Consumo de agua potable, capacidad de camas para turistas, percepción del turismo.
- b) **Estado de latencia (IPA entre 0,729 y 0,99)**  
La lengua rapanui, volumen de residuos sólidos en el vertedero, cobertura del servicio de educación.

- c) **Estado de saturación (IPA igual o superior a 1)**  
Energía eléctrica, brecha entre oferta y demanda de peces, sobrepoblación de ganado, cobertura del servicio de salud, ocupación urbana y vivienda.



**Fig. 4:** Extracto de interfaz del MCCIP, elaborado por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Obtenida de: <http://www.gobernacionisladepascua.gov.cl/noticias/gobernadora-provincial-envio-indices-que-informan-el-estado-de-latencia-para-rapa-nui/>

Cuando se hizo pública la investigación, el alcalde de la isla, Pedro Edmunds, aseguraba en dicho momento que *“vendrá un momento difícil si no se toma en consideración un plan de gestión para sacar de la isla del estado de Latencia en que fue decretada”* (Edmunds, 2019).

Posterior a estos sucesos, el Ministerio de Interior del Gobierno de Chile decidió crear finalmente un Plan de Gestión de Capacidad de Carga Demográfica (PGCD) para concretar una de las promesas más esperadas en la isla: un plan de acción con plazos y directrices claras, significando decenas de proyectos con un alto financiamiento para todas las industrias y áreas críticas de Rapa Nui.

Luego de su promulgación en 2020, este documento comenzó a regir desde el año 2021 bajo el nombre de Decreto de Ley 436. Dicho plan prioriza múltiples temáticas cruciales para la recuperación y el desarrollo sostenible del territorio. Tales iniciativas giran en torno a: habitabilidad, conectividad, turismo, patrimonio, recursos naturales, medio ambiente y cambio climático, salud, educación, y, por último, medidas transversales y complementarias.

El seminario de investigación 'Rapa Nui: impacto del turismo en la vivienda' (Badilla y Núñez, 2008), trata gran parte de los problemas asociados a las temáticas de turismo y habitabilidad que siguen

existiendo en la isla. Sus autoras aseguran en cuanto al turismo, que siempre ha sido:

*“Un proceso acelerado y desordenado, en el que se han improvisado soluciones y decisiones a tomar. Estas acciones vienen desde variados ámbitos, con actores de entidades de Gobierno, agencias de turismo y los propios isleños. En esta materia queda mucho por recorrer (...)”* (Badilla y Núñez, 2008).

### 3. Métodos

Para los métodos de esta investigación de carácter cualitativo, por un lado se dio énfasis en la situación de crisis en la que se encuentra inmersa la Isla de Pascua producto de la saturación de su territorio. Por otra parte, se analizó el origen, concepto y potencialidad de los *Digital Twins*, y cómo estos pueden ser desarrollados en la disciplina arquitectónica en pro a la solución de problemas actuales, además de eventuales dificultades que se generan en distintos núcleos urbanos.

Se toma como caso de estudio el territorio insular de Isla de Pascua, ya que fue importante establecer un territorio real en el que se pudiera contextualizar el funcionamiento y gestión de los gemelos digitales. La elección de la zona se fundamenta en una de las características propias claves de la isla: su emplazamiento. Sumado a esto, las condiciones actuales en las que se encuentra y cómo se proyecta a futuro, son factores primordiales para su preferencia. La explotación excesiva de recursos, sumado a una considerable alza en su capacidad de carga demográfica, han afectado de manera negativa a la isla, por lo que se torna imprescindible encontrar soluciones que puedan erradicar estas dificultades de una manera más eficiente.

Considerando que el objetivo general de esta investigación es poner en debate el uso de nuevas herramientas digitales para la planificación y diseño de proyectos en Rapa Nui a raíz del PGCD, como también, revelar el alcance de los *Digital Twins* como una nueva tecnología emergente en el sector de la arquitectura, ingeniería y construcción, es que surge la pregunta de investigación: ¿Cómo pueden los *Digital Twins* aportar a mejorar la planificación y el diseño de futuros proyectos sostenibles en Rapa Nui?

Para responder a la pregunta en cuestión, en primer lugar fue necesario ampliar conocimientos y crear un mejor entendimiento del territorio de investigación. Para esto, se buscó información *online*, utilizando palabras claves, tales como: Rapa Nui, problemas, arquitectura extrema, territorios aislados, saturación, entre otros. Se seleccionaron los documentos que explicaban la gama de problemas, filtrando, para poder incluir los que presentaban soluciones y que estaban de cierta manera relacionados al sector energético, de turismo o construcción, con el fin de hacer un cruce con el diseño arquitectónico de estos proyectos. Luego, se investigó específicamente en, artículos, reportajes escritos y otros audiovisuales dedicados a explicar la situación en la isla, investigaciones para promover la recuperación ecológica (lideradas por organismos del estado chileno), como también investigaciones ligadas al uso de energías limpias y planes de sustentabilidad para toda la isla, provenientes de asociaciones de fundaciones, empresas privadas y entidades universitarias.

En cuanto a la temática de *Digital Twins*, se realizó una profunda recopilación de datos en torno a ellos y sus temáticas afines en el ámbito de la arquitectura: visualización arquitectónica (conocido como *ArchViz* en inglés), realidad virtual (VR), gestión inteligente, *blockchain*, metaverso, modelado 3D e información en tiempo real (*real-time data*), a partir de múltiples buscadores y plataformas digitales principales: Google, ResearchGate, YouTube, TED, entre otros.

A pesar de existir hace casi dos décadas, el término de *Digital Twins* es relativamente nuevo en el mundo, por lo que resultó difícil encontrar *papers* y documentos estrictamente ligados a la arquitectura. Por naturaleza tiende a estar más afín con trabajos de ingeniería y ciclo de vida de productos. De igual forma existían ciertas plataformas que sí contenían información relacionada a la disciplina, apoyándose en los términos antes mencionados en esta sección. Normalmente aparecían noticias, guías, foros de discusión y páginas de productos con información muy reciente, con fechas de publicación entre 2019 a 2022, por lo que no fue necesario aplicar filtros para encontrar información actualizada.

Resultó fundamental hacer una selección dentro de las fuentes de información para elegir aquellas con potencial en el desarrollo de proyectos en el área de la arquitectura, excluyendo aquellas con información más ambigua. Para esto, se realizaron lecturas rápidas buscando conceptos relacionados con la visualización arquitectónica, modelos 3D

conectados a *real-time data* o con gestión inteligente del ciclo de vida de las edificaciones.

Dentro de las fuentes relevantes, se destacan los portales de Unreal Engine, Unity y Autodesk. En los dos primeros, al ser motores de juego, los datos estaban enfocados en la visualización de diseños y la integración de datos en tiempo real, mediante la creación de contenidos digitales (DCC), que pueden ser creados con softwares como Maya o 3ds Max para incorporar paquetes de *scripting*, lo que significa que los usuarios pueden controlar los modelos 3D a través de *scripts*. Fue posible dar cuenta de que varios proveedores de gemelos digitales ofrecen conexiones *API Restful* y acceso a fuentes de datos en vivo para potenciar entidades físicas más inteligentes y fidedignas. Así pueden predecir su propio comportamiento y el de su contexto, con la agregación de otras fuentes de datos a su alrededor.

En el caso de la compañía norteamericana Autodesk, su información ayudó a diferenciar de mejor manera los niveles de *Digital Twins* que existen y el grado de madurez y transformación digital que requiere cada uno. Como ellos producen la mayor cantidad de software dedicada al sector AEC, era valioso reconocer su expertis y razones por las que promueven esta nueva tecnología con tanta fuerza. Se pudo inferir entonces el inevitable ascenso de los gemelos digitales, tanto de la difusión de información del concepto como la pronta expansión en la utilización de esta herramienta.

Para entender mejor las políticas nacionales de *Digital Twins*, que surgió al indagar más acerca del alcance de los gemelos digitales, se hizo un análisis de la información contenida en los tres *papers* más importantes del Center for Digital Built Britain (CDBB): *The Gemini Principles, Flourishing Systems* y el *National Digital Twin Programme*. El CDBB es un organismo creado en 2017, mediante la asociación entre el Departamento de Empresas, Energía y Estrategia Industrial de Inglaterra y la Universidad de Cambridge, con el fin de entender cómo los sectores de la construcción y las infraestructuras podrían utilizar un enfoque 100% digital para diseñar, construir, operar e integrar mejor el entorno construido.

Para complementar la información recaudada en Internet, se realizaron diversas instancias de conversaciones y entrevistas semi-formales con personas dedicadas e insertas en el rubro. Cabe destacar que todas estas circunstancias se realizaron vía *online*. Además, se solicitó consentimiento a

todas las personas entrevistadas, para poder compartir los audios y archivos posteriormente.

Se tuvieron dos charlas con Pablo Pérez Leiva, geógrafo de la Universidad de Chile y profesional especializado en tecnologías de información (AI) y desarrollador de negocios para gestión de activos industriales y procesamiento satelital de imágenes. Fundador y CEO de la renombrada empresa nacional Innspatial.

Asimismo, se conversó con Alejandra Cortés, profesora adjunta de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, quien al día de hoy se encuentra realizando un doctorado en Australia sobre energías renovables. Esta instancia, tuvo una gran repercusión en lo que respecta a la integración del ámbito energético en la configuración y construcción de la trama urbana y la implicancia que esto tendría en un futuro cercano.

Con respecto a las entrevistas semi estructuradas se contactaron a cuatro profesionales, llevando a cabo finalmente tres, debido a que Kay Bergamini, investigador y coautor principal del Modelo de capacidad de carga demográfica para el territorio de Isla de Pascua (MCCIP), se encontraba fuera del país.

Michael Grieves, creador de los *Digital Twins*, fue sin lugar a dudas una de las grandes oportunidades de conversación, ya que el hecho de sostener una reunión en inglés con una figura pública como él, fue extremadamente beneficioso para el objetivo de esta investigación.

Por último, se dialogó y analizó el concepto de los gemelos digitales en el mundo y su inserción actual en Chile en una entrevista doble con Pablo Pérez (con quien ya se habían tenido conversaciones previas) y Alejandro Bravo, arquitecto de la Universidad de Chile, CEO de Global Master Planning y director de FUTURIZA, que tuvo la posibilidad de trabajar en Rapa Nui, dada la tecnificación de la industria turística que paulatinamente se va encaminando al concepto de ciudades inteligentes (*Smart Cities*) y destinos turísticos inteligentes (DTI).

Toda la información recopilada, tanto de Rapa Nui como de los *Digital Twins*, fue ordenada y analizada (adjunta en el Anexo 1). Se decidió transcribir todos los videos y portales que contenían información relevante para la investigación (de uso personal). De igual manera, las entrevistas, fueron transcritas para poder tener fácil acceso y de manera ordenada a esta valiosa información (adjuntas en el Anexo 2 y 3).



## 4. Resultados

Gracias a las diversas entrevistas e instancias de conversación con profesionales de diferentes rubros se puede realizar un análisis sobre la temática desde diferentes puntos de vista por disciplina: el Dr. Michael Grieves, ingeniero, ve el potencial de los *Digital Twins* mediante la predicción y la simulación, mientras que el profesor Pablo Pérez, geógrafo, ve la gran capacidad de sensorizar toda la Isla de Pascua y sacar imágenes con mapas de puntos mediante la fotogrametría, y finalmente, los arquitectos Alejandro Bravo y Alejandra Cortés, reflexionan sobre el valor de los *Digital Twins* en el diseño e implementación de proyectos en territorios extremos que puedan escalar hasta ser ejemplos pilotos para Chile y el mundo. Teniendo en cuenta que nuestro país cuenta con una amplia y diversa geografía, la Isla de Pascua sería una región óptima para comenzar.

*“No existe otro país que tenga este tipo de cosas tan máximas, unidas en su mismo territorio. Entonces ahí ya tenemos algo que aportar al mundo para poder pilotar. Hay que concentrarse a lo mejor en zonas y áreas que eventualmente pueden ser escalables al otro lado del mundo”* (Bravo, 2022).

La información obtenida por parte de los expertos, al ser tan variada, permite abarcar el problema desde múltiples soluciones. Es por esto que los resultados de la investigación se dividen en tres secciones: (1) la hipotética factibilidad de gemelos digitales en Rapa Nui; (2) avances y descubrimientos sobre los *Digital Twins* en la arquitectura; y (3) la aparición de nuevos antecedentes para entender relaciones digitales con el territorio.

En cuanto a la primera sección, es importante mencionar que la creciente demanda turística además de la nula planificación del crecimiento de la isla por décadas, ha derivado una gama de dificultades a resolver: escasez de espacio y recursos; falta de sustentabilidad y calidad de vida; carencia de tratamiento de residuos; uso de energías contaminantes; y conflictos socio administrativos con el estado chileno. Esta evidente sobrepoblación y sobrecarga de uso en un territorio insular extremo como Rapa Nui ha generado situaciones cada vez más complejas de resolver en materia de abastecimiento, habitabilidad y su calidad de vida, lo que en consecuencia, ha transformado a la isla en un entorno cada vez más hostil.

Frente a esto, la hipotética factibilidad de *Digital Twins* en la Isla de Pascua fue planteada como una posible solución para instaurar nuevos modelos 3D interactivos con sistemas de información en tiempo real en todo el territorio, con el fin de analizar, predecir y anticiparse a un mayor deterioro de la isla. Se podrían ver potenciados los proyectos de carácter sostenible que hoy en día se están diseñando y planificando en Rapa Nui.

Para lograr responder la pregunta de investigación, se buscaron similitudes en casos de estudios alrededor del mundo que cumplieran con parámetros similares de *outputs* esperados. Tal como indica el Dr. Grieves (2022) en la entrevista, *“Todo depende de lo que veas en tus outputs. Solo así puedes determinar si es factible o no el proyecto”*. Menciona el ejemplo del *Digital Twin* en Stonehenge (Reino Unido), uno de los monumentos megalíticos más antiguos del mundo, para evidenciar cómo han llegado a controlar el número de personas que pueden estar entre las piedras allá en Inglaterra. Con ello, infiere que para el caso de la Isla de Pascua lo siguiente:

*“En lugar de pensar arbitrariamente un número fijo de gente que puede visitar la isla, como decir que solo 500 personas pueden entrar, sería mejor argumentar basándose en los números. Si entran 100 a 100.000 personas, aquí está lo que el impacto va a ser en la isla. Validando esa información a través de un *Digital Twin*, entonces eso se convierte en una decisión no arbitraria. Básicamente se tiene la capacidad de predecir lo que va a pasar. Si por el contrario, se dejarán pasar más personas de lo permitido por la simulación, la isla sufrirá debido a esto y terminas con, ya sabes, demasiada basura, no hay suficiente energía, el agua es un problema, etc. Ese tipo de cosas es probablemente factible que sucedan”* (Grieves, 2022).

Un segundo punto a favor de la factibilidad del uso de *Digital Twins* en Rapa Nui, fue la otra respuesta del Dr. Grieves respecto a la misma pregunta en relación a la utilización de éstos, quien argumentó:

*“Creo que podría ser muy útil. Quiero decir, para los problemas que tienen, la capacidad de sensorizar adecuadamente y obtener así los datos que se necesitan, es perfectamente posible. Solo se requiere hacer dos cosas:*

1. En primer lugar, quieres replicar lo que está sucediendo allí, por lo que no tienes que estar en la isla todo el tiempo. Así puedes crear tu propio gemelo digital y que seas tú básicamente el que lleva el tiempo.
2. Y luego, quieres tener el control de las variables cambiantes del mismo. Quieres tener si o si esta réplica virtual del original, porque luego vas a predecir. Así que puedes basarte en algún momento particular del input y luego predecir lo que pasará en el futuro, y bueno, ser capaz de evitar cualquier problema que vaya a suceder. Es decir, si estás prediciendo cosas que son controlables, si funciona. Por ejemplo, el número de visitantes que vienen o los tipos de materiales de construcción que estás utilizando y su impacto en el medio ambiente. En cambio, si tratas de predecir todo el clima, eso podría ser un verdadero problema” (Grievés, 2022).

A raíz de esta pregunta fue posible entender que es necesario saber discernir entre las variables controlables y no controlables, en términos de causa y efecto, para que al momento de capturar la información no existan falsas promesas respecto a lo que puede hacer el gemelo digital.

*“No puedes explicar lo que va a pasar 10 años en el futuro, si no tienes ese control por otras variables ajenas a ti. Simplemente no sabes lo que el clima va a hacer, o los cambios del mar, o cosas así. Creo que hay que tener cuidado a la hora de definir cuáles son esas cosas que vas a poder hacer”* (Grievés, 2022).

Con una visión holística de las oportunidades que existen en los múltiples problemas internos de Rapa Nui, su extrema insularidad y el correcto uso de sus recursos, la isla puede convertirse en un caso de estudio ejemplar para Chile y el mundo, gracias al uso de tecnologías vinculadas al diseño arquitectónico. Es más, si se transformará en el primer escenario piloto de *Digital Twins* en el país, se podría demostrar que, incluso en entornos extremadamente aislados, se puede mejorar el diseño y planificación de proyectos, con el fin de generar territorios más autosuficientes con tecnología de vanguardia, para predecir problemas antes de que ocurran, permitiendo así una mejor operación de mantenimiento en el tiempo.



**Fig. 5:** *Digital Twin* de Tampa (IMERZA). Obtenida de: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/what-are-digital-twins>

Sobre los progresos que ha sostenido esta tecnología en el tiempo y su capacidad exponencial de seguir prosperando, es posible destacar el funcionamiento que se le ha dado en diferentes contextos condicionados por distintas características propias alrededor del mundo. Shanghái, Adelaida, Tampa (Fig. 5) e Italia son algunos de los ejemplos de los lugares que han implementado los *Digital Twins* en búsqueda de soluciones. A pesar de que los contratiempos de cada espacio son distintos, todos convergen en el método de solución: identificando el problema base del territorio para diseñar la réplica digital con el *output* esperado. Es muy similar al proceso de diseño arquitectónico, donde dependiendo de las variables contextuales existentes y el objetivo que se busca conseguir, se organiza la información para posteriormente diseñar y construir en torno a la finalidad.

Cabe señalar, existen factores independientes que no pueden ser controlados por el ser humano, como es el clima, los desastres naturales y la geografía particular de un entorno. Es en esta etapa, donde la herramienta de los gemelos digitales aporta con creces, ya que nos ofrece la posibilidad de estimar y evaluar todos los posibles escenarios futuros dependiendo de las condiciones que se vayan presentando y cuál es el grado de impacto que pueden llegar a provocar. El tener manejo y conciencia de esta información, nos permite una mejor planificación sobre la trama urbana y el desarrollo a futuro de esta, en paralelo a la adecuada protección de nuestras ciudades y patrimonio. Cualidades que están estrechamente ligadas a un equilibrio sostenible con la calidad y nivel de vida de las personas.

Según Roberto Moris (2020), director del Programa de Planes y Proyectos Urbanos de la Pontificia

Universidad Católica de Chile, investigador responsable del Modelo de capacidad de carga demográfica para el territorio de Isla de Pascua y coautor del mismo algoritmo, asegura que *"no tienen forma de hacer un seguimiento para corroborar el estado de avance de las variables"* (Moris, 2018). Por lo mismo, en reiteradas ocasiones ha solicitado establecer un mecanismo que permita visualizar las medidas y activarlo sobre todo cuando se haga efectivo el plan de gestión. Este vacío con respecto a la recopilación de información constante en el sistema significa una oportunidad clara para la utilización de *Digital Twins*, gracias a su ininterrumpido flujo de datos en tiempo real.

Pérez (2022) habla sobre esta misma lógica al indicar que *"hemos visto principalmente experiencias en otros países como Estados Unidos y algunos de Europa, donde los modelos digitales incorporan sensorización, avisos y alertas en tiempo real de distintas situaciones, por ejemplo, el uso de las aguas servidas. Si llevas esos datos a un modelo digital, la toma de decisiones es mucho más rápida y si esa determinación es vinculante con otros servicios o con la gobernanza, es aún mejor, pero en Chile aún estamos lejos de eso"*.

Por último, aparecen nuevas aproximaciones respecto a los *Digital Twins* y su relación con otras tecnologías disruptivas, como también con otros conceptos antes desconocidos. El arquitecto Alejandro Bravo (2022) sostiene que *"La idea de los Digital Twins siempre ha estado presente, no como herramienta digital sino literal"*. Junto con el desarrollo de los metaversos, tienen la necesidad de recrear virtualmente el mundo físico, y que inclusive entre sí, se parecen bastante.

Tras una exhaustiva comparación entre ambos conceptos, resulta paradójico que los gemelos digitales se consideren parte del metaverso como tal, pero es un hecho. Los gemelos digitales son réplicas virtuales de entidades reales y estas réplicas suelen utilizarse como escenarios de prueba y desarrollo, por lo que se alimentan de datos reales y existen dentro de un mundo virtual, independiente de cuál sea su réplica real. El metaverso en sí, sería como un gemelo digital de nuestro mundo real, de ahí la relación entre ambos conceptos. La principal característica que hace más interesante a los *Digital Twins* frente a la industria AEC, es su condición de información en tiempo real y la aplicación de leyes de física reales en los modelos.

Bravo recalca que este tipo de tecnologías inteligentes son absolutamente colaborativas, por lo

que *"nos devuelve a los problemas más antiguos, que es cómo relacionarse con la gente"* (Bravo, 2022). El término de 'gobernanza digital' es también introducido por primera vez en la investigación y se puede observar una estricta relación con el poder de la información, libre y descentralizada, que los *Digital Twins* podrían fomentar gracias a su manera de trabajar con múltiples fuentes de datos.

## 5. Conclusiones

Considerando el contexto mundial actual, con el cambio climático y la constante crisis sanitaria producto de la pandemia por Covid-19, es evidente que todos los países del mundo están sufriendo profundos cambios que requieren una rápida adaptación de toda la población. Específicamente en Rapa Nui, esto ha traído consigo una nueva mirada de cómo hacer las cosas, lo que a su vez, ha acelerado la búsqueda de soluciones a todos los problemas que afectan a la isla. De la mano de la tecnología, es posible imaginar y llevar a cabo de manera más veloz esta exploración.

Desde hace décadas está latente la preocupación por encontrar nuevas formas de hacer crecer la Isla de Pascua con un enfoque sostenible en el tiempo. Hoy sabemos que los conocimientos de la ciencia, la tecnología y el diseño, son fundamentales para imaginar y proponer nuevas formas de vivir que garanticen el bienestar de la población y del medio ambiente, por lo que es lógico –y necesario– plantear soluciones desde la disciplina de la arquitectura, a través de sistemas auto gestionables e inteligentes, estrategias de diseño innovadoras, mejor uso de los recursos naturales, nuevos materiales y técnicas de construcción revolucionarias. A través de una adecuada y beneficiosa integración interdisciplinaria entre la arquitectura y los *Digital Twins*, se pueden gestionar proyectos de gran y pequeña escala de forma completamente virtual, autónoma y sostenible.

*"Por lo tanto, creo que te permite hacer las típicas preguntas '¿qué pasaría si?' con más frecuencia en la fase de diseño, siempre y cuando tengas la física correcta, sigo insistiendo en eso, ya que todo el tiempo que puedas predecir realmente lo que va a pasar, siempre será una buena idea"* (Grieves, 2022).

Uno de los aspectos más interesantes de los resultados de la investigación fue recibir el *feedback* positivo de todos los expertos entrevistados frente a la posibilidad de implementar *Digital Twins* en la Isla de Pascua. Esto da cuenta de una correcta aproximación del énfasis e hipótesis ya que, con el poder de los flujos de datos hacia los modelos 3D interactivos, se podrían solucionar de forma muy efectiva desafíos complejos en escenarios reales, al permitir experimentar cientos de *outcomes* con un solo gemelo digital.

A partir de los resultados obtenidos, se puede afirmar que la isla podría verse beneficiada al implementar *Digital Twins* en futuros y/o actuales proyectos arquitectónicos, generando predicciones en planificación y gestión digital inteligente. Se recalca la vasta importancia de una fuerte coordinación entre la información, los modelos digitales y el manejo que se debe tener sobre ellos para poder lograr el máximo provecho de esta herramienta digital. La gobernanza digital exige una adecuada utilización de los datos, coordinando de manera remota con diferentes servicios e instituciones para poder trabajar en conjunto y lograr un resultado exitoso. Esta cooperación y *workflow* es una de las piezas claves para el correcto uso de los gemelos digitales.



**Fig. 6:** Wellington *Digital Twin* (Build Media). Obtenida de: <https://www.unrealengine.com/en-US/blog/what-are-digital-twins>

Existen ciertos aspectos importantes a tener en cuenta para futuros trabajos relacionados a la Isla de Pascua, como también el uso de *Digital Twins* en la arquitectura:

1. Se podrían proponer nuevas investigaciones con una mayor recopilación de experiencias de casos de uso de gemelos digitales, con el fin de generar una matriz para compararlos. Aún existe

muy poca información respecto a esta tecnología, lo que hace muy difícil definir exactamente un punto de partida para comenzar a utilizarla, y por consiguiente, entender cuál sería el mejor tipo y nivel de *Digital Twin* que se necesitaría en cada proyecto. Sería interesante proponer estudios preliminares de gemelos digitales con algunos métodos de creación de información en tiempo real, para conectarlos y poder llevar a cabo pequeñas simulaciones, obteniendo así, datos e información más objetiva y cuantificable.

2. Es posible además, que este artículo haya carecido de una aproximación más especializada y acotada del área de la arquitectura, como por ejemplo, la visualización arquitectónica. Se deja abierta la posibilidad de dirigir el enfoque de una futura investigación hacia una comparación entre el nivel de fidelidad visual que genera un modelo 3D interactivo de un *Digital Twin* versus un modelo 3D de un proyecto meramente BIM. Incluso, si la realidad virtual (VR) o realidad aumentada (AR) fue el tema de preferencia, se abren oportunidades para realizar experiencias virtuales de gemelos digitales con la ventaja de utilizar información en tiempo real, algo poco usual en el diseño arquitectónico.
3. Por último, el caso de estudio de la Isla de Pascua podría haber sido cambiado por un escenario menos remoto, de mejor acceso y sin tantos problemas de base que analizar. A pesar de que el territorio presenta varios factores a su favor para su futura implementación, pueden existir varias limitaciones y la inminente necesidad de reunir un equipo multidisciplinario con la experiencia suficiente en este tipo de tecnologías de información, para poder levantar proyectos de esta índole. Más aún, debido a los posibles conflictos de gobernanza que pueden llegar a darse con las autoridades isleñas por intentar introducir un programa piloto tan vanguardista como este en su territorio.

A modo de cierre de esta investigación, creo honestamente que la tecnología es un elemento vital para el porvenir de nuestro planeta, pero es más importante aún saber qué es lo que hacemos hoy con ella. Es necesario aprender a diseñar y construir usando retroalimentación en tiempo real, para garantizar una evolución sostenible e inteligente de nuestras ciudades y territorios, a corto y largo plazo.

Los *Digital Twins* son un archivo del pasado, presente y futuro, tanto para nuestra disciplina, como para todas las áreas que se puedan imaginar: medicina, transporte, energía, educación, alimentos, entre otros.

*“Cuando un gemelo digital opera correctamente, no solo representará fielmente modelos, sino que en realidad funcionarán para que podamos recalibrar dinámicamente todo nuestro entorno, lo que afectará el diseño, la construcción y todas las operaciones de cualquier activo” (O’Connor, 2017).*

En esencia, ya estamos inmersos en una era virtualmente más activa que hace algunos años atrás. Es solo cuestión de tiempo para que podamos ver cómo este tipo de tecnologías mejorarán notablemente la calidad de vida de las personas alrededor de todo el mundo. Desde evaluación de riesgos de desastres naturales hasta la generación de plataformas interactivas de planificación urbana para las comunidades, los gemelos digitales son naturalmente versátiles y por ende, la forma en la que vemos y percibimos el entorno construido cambiará radicalmente dentro de los próximos años.

El potencial de los *Digital Twins* no tiene límites y estamos recién comenzando a entender este nuevo paradigma en la arquitectura.

*“El futuro comienza hoy, y no mañana” (Ex papa Juan Pablo II, s/f).*



**Fig. 7:** Volcán Rano Kau (VisitChile). Obtenida de: <https://www.visitchile.com/es/isla-de-pascua>

## Agradecimientos

Un profundo y afectuoso agradecimiento a Michael Grieves, Pablo Pérez, Alejandro Bravo, Alejandra Cortés, Mauricio Loyola y Nora de la Maza, por toda su ayuda en mi Seminario de licenciatura. ¡Gracias!

## Referencias

- Autodesk. (2022) "Digital Twins in Construction, Engineering & Architecture".  
<https://www.autodesk.com/solutions/digital-twin/architecture-engineering-construction>
- Badilla, V. (2008). "Rapa Nui: impacto del turismo en la vivienda". Seminario de Investigación, Universidad de Chile.
- Bolton, A; Enzer, M; Schooling, J. (2018). "The Gemini Principles".  
<https://www.cdbb.cam.ac.uk/system/files/documents/TheGeminiPrinciples.pdf>
- Casey, N. (2018, marzo 15). "La Isla de Pascua está desapareciendo". New York Times.  
<https://www.nytimes.com/interactive/2018/03/15/climate/easter-island-erosion-ES.html>
- Centre for Digital Built Britain. (s.f). "National Digital Twin Programme". University of Cambridge.  
<https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-do/national-digital-twin-programme>
- Centro de energía, FCSM, Universidad de Chile. (2015, septiembre 21). "Elaboración de propuesta energética para Isla de Pascua".  
<https://biblioteca.digital.gob.cl/bitstream/handle/123456789/545/Elaboracion%20de%20propuesta%20energetica%20para%20Isla%20de%20Pascua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Eckhardt S, Johnson T, Weir-McCall D. [Unreal Engine]. (2021, mayo 6). "Digital Twins: Building Cities of the Future | The Pulse | Unreal Engine". [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=i12kObBpz-E>
- Farfán, C. (2020, febrero 24). "Autoridades de Rapa Nui critican escasos avances y falta de inversión a nueve meses de la declaración de estado de latencia en la isla". País Circular.  
<https://www.paiscircular.cl/ciudad/autoridades-de-rapa-nui-critican-escasos-avances-y-falta-de-inversion-a-nueve-meses-de-la-declaracion-de-estado-de-latencia-en-la-isla/>
- Ferrell M. [Undecided with Matt Ferrell] (2021, enero 26). "Exploring Green Building and the Future of Construction". [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=wmoy27EZ8y0&t>
- Fundación Chile. (2015, junio 26). "Inauguran primera planta desalinizadora que funciona con energía solar en Isla de Pascua".  
<https://fch.cl/noticianoticia-destacadanoticia-antigua/inauguran-primera-planta-desalinizadora-que-funciona-con-energia-solar-en-isla-de-pascua>
- Fundación Chile. (2016, julio 25). "Estrategia Energética para el Desarrollo de la Energía Marina en Comunidades Costeras e Insulares de la Región de Valparaíso". [https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/informe-final\\_estrategia-energias-marinas\\_fic.pdf](https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/informe-final_estrategia-energias-marinas_fic.pdf)
- Fundación Terram. (2012, junio 21). "3 claves para entender por qué Isla de Pascua está al borde de un colapso medioambiental".  
[https://www.terram.cl/2012/06/3\\_claves\\_para\\_entender\\_por\\_que\\_isla\\_de\\_pascua\\_esta\\_al\\_borde\\_de\\_un\\_colapso\\_medioambiental/](https://www.terram.cl/2012/06/3_claves_para_entender_por_que_isla_de_pascua_esta_al_borde_de_un_colapso_medioambiental/)
- Frearson, A. (2021, septiembre 7). "Digital twins are "big driver" towards net-zero cities, say experts".  
<https://www.dezeen.com/2021/09/07/digital-twins-climate-change-net-zero-cities/>
- Grieves, M. (2016, agosto). "Origins of the Digital Twin Concept".  
[https://www.researchgate.net/publication/307509727\\_Origins\\_of\\_the\\_Digital\\_Twin\\_Concept](https://www.researchgate.net/publication/307509727_Origins_of_the_Digital_Twin_Concept)
- Grieves, M. (2022, mayo). "Intelligent digital twins and the development and management of complex systems".  
[https://www.researchgate.net/publication/360863845\\_Intelligent\\_digital\\_twins\\_and\\_the\\_development\\_and\\_management\\_of\\_complex\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/360863845_Intelligent_digital_twins_and_the_development_and_management_of_complex_systems)
- González, C. (2019, mayo 9). "Plan de gestión y restricción de residencia: las medidas que buscan sacar a Rapa Nui del estado de latencia por carga demográfica". País Circular.  
<https://www.paiscircular.cl/biodiversidad/plan-de-gestion-y-restriccion-de-residencia-las-medidas-que-buscan-sacar-a-rapa-nui-del-estado-de-latencia-por-carga-demografica/>
- Huggett, L. [TEDx Talks]. (2022, mayo 6). "Digital Twins: The Smart Future of Buildings | Lauren H

| TEDXWimbledonHighSchool. [Video].  
YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=PAa6kP8HGRM>

Juan F. [Schneider Electric España]. (2019, enero 22). "¿Qué es un "Digital Twin" o "Gemelo Digital" y cuáles son sus beneficios?" [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=qK5NBn2r-ok>

Kienzer, R. (2019, mayo 13). "Digital Twins and the Internet of Things".  
<https://developer.ibm.com/articles/digital-twins-and-the-internet-of-things>

Long, G. (2014, abril 25). "La tonelada de problemas que enfrenta Isla de Pascua". *BBC*.  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140425\\_isla\\_de\\_pascua\\_chile\\_problemas\\_jp](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140425_isla_de_pascua_chile_problemas_jp)

Ministerio del Interior y Seguridad Pública, Subsecretaría del Interior. (2021, enero). "Aprueba Plan de Gestión de la Capacidad de Carga Demográfica para Isla de Pascua". *Diario Oficial de la República de Chile*.  
<https://www.interior.gob.cl/transparencia/doc/ActosyDocumentosDiarioOficial/200/7776841.pdf>

Moris, R. (2016 - 2018). "Modelo de capacidad de carga demográfica para el territorio de Isla de Pascua (MCCIP)".  
<https://estudiosurbanos.uc.cl/en/investigacion/estudio-de-capacidad-de-carga-demografica-en-isla-de-pascua/>

Osses, E. (2015). "Energías renovables no convencionales en el territorio insular. Necesidad de autosuficiencia y sostenibilidad energética en los territorios insulares de Chile". Seminario de Investigación, Universidad de Chile.

O'Connor C. [IBM Internet of Things]. (2017, junio 27). "Introduction to Digital Twin: Simple, but detailed". [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=RaOejcczPas>

O'Ryan, F. (2018, diciembre 23). "El plan para abastecer a Isla de Pascua en un 100% de energía renovable". *La Tercera*.  
<https://www.latercera.com/pulso/noticia/plan-abastecer-isla-pascua-100-energia-renovable/457848/>

Ramírez, S. (2017, Junio). "La huella hídrica de Rapa Nui enfrentada desde la vivienda". Seminario de Investigación, Universidad de Chile.

Roa, Y. (2018, marzo 19). "Estudio asegura que sobrepoblación de Rapa Nui estarían dañando a su infraestructura".  
<https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-valparaiso/2018/03/19/estudio-asegura-que-sobrepoblacion-de-rapa-nui-estaria-danando-a-su-infraestructura.shtml>

Tasneem Z. [TEDx Talks]. (2022, abril 25). "Digital Twin: Towards Next Generation Virtual World | Zinat Tasneem | TEDxRUET". [Video]. YouTube.  
[https://www.youtube.com/watch?v=T\\_VSzvJCRd0](https://www.youtube.com/watch?v=T_VSzvJCRd0)

The B1M Limited. (2022, abril 12). "Italy is Building a New Tech Capital". [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=Q6TRvT9nE4k>

Unreal Engine. (2021, enero). "Digital Twins for architecture, real estate, and the built environment".  
<https://www.unrealengine.com/en-US/digital-twins>

Unreal Engine. (2021, enero). "Getting started with digital twins".  
<https://www.unrealengine.com/en-US/blog/getting-started-with-digital-twins>

World Energy Trade. (2019, mayo 27). "Energía renovable en Rapa Nui o Isla de Pascua".  
<https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-solar/energia-renovable-en-rapa-nui-o-isla-de-pascua>

## Anexos

Anexo 1: Excel matriz de marco teórico

Anexo 2: Entrevista a Pablo Pérez y Alejandro Bravo (transcripción y grabación de audio)

Anexo 3: Entrevista a Michael Grieves (transcripción en inglés + español y grabación de audio)

Todos los anexos están disponibles en la carpeta web:

<https://drive.google.com/drive/folders/1c wd1wbw eCDTxMC8ImQU8NB8-BoP88tZd?usp=sharing>