



MADRID

Estrategia Gemelo Digital Ayuntamiento Madrid

DOCUMENTO MARCO



ÍNDICE

GEMELO DIGITAL: EL CAMINO HACIA LA CIUDAD ADAPTATIVA HUMANA

- 1 INTRODUCCIÓN
- 2 OBJETIVOS
- 3 SITUACIÓN ACTUAL
- 4 ALCANCE
- 5 DEMOSTRADORES
- 6 ARQUITECTURA - CATÁLOGO DE COMPONENTES Y SERVICIOS
- 7 PLANIFICACIÓN Y FASES ASOCIADAS
- 8 HITOS

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de **Gemelo Digital** está recogido como un proyecto del Plan Operativo de Gobierno del Ayuntamiento de Madrid para la creación de una réplica virtual de las instalaciones, equipos e infraestructuras de la ciudad para que se puedan realizar simulaciones y facilitar la planificación de proyectos de actuación, analizando su impacto previamente a su contratación y ejecución.

Este proyecto permite avanzar en los compromisos recogidos en la **Estrategia para la Transformación Digital, Madrid Capital**, especialmente en lo referente a su objetivo estratégico 2, “Inteligencia de Ciudad”, junto a su eje estratégico “Ciudad gestionada en base a evidencias y datos” y sus programas de “Planificación y gestión basada en evidencias”, para continuar avanzando en una gestión más **eficiente, sostenible e interoperable** y ofreciendo un atractivo de innovación en la ciudad.

Por tanto, el objetivo que persigue es mejorar la gestión y planificación de las políticas públicas, mediante el uso de datos precisos en tiempo real y de técnicas de modelización y aprendizaje automático con una doble vertiente: por un lado, la toma de decisiones basadas en evidencias y por otro, la evolución a un modelo de ciudad centrado en la persona.

Así, entre otros aspectos, las ventajas que puede llevar aparejadas este proyecto pueden ser la representación digital detallada del espacio físico, la visualización de espacios y diseños de proyectos, el acceso remoto a recorridos virtuales, el desarrollo del test de accesibilidad, la comparación de entornos y modelos de diseño y la reducción de visitas físicas además de ahorro de tiempo y costes.

En resumen, se centra en una prestación de servicios al ciudadano más eficiente y operativa, así como en la mejora en la definición de políticas públicas mejor adaptadas a las necesidades de la ciudadanía y a la realidad del territorio.

2. OBJETIVOS

La ruta hacia la ciudad adaptativa humana.

¿Cómo llevar la innovación y las tecnologías emergentes a las ciudades?

La ciudad es el sistema más complejo que ha sido diseñado por la humanidad (un sistema de sistemas). En la actualidad, de acuerdo con los datos del Foro Económico Mundial, alrededor del 55% de la población mundial vive en ciudades y se estima que un 70% lo haga en el año 2.050. En definitiva, las ciudades representan la oportunidad más importante de innovación y transformación real, pero esta oportunidad debe llevarse a cabo totalmente alineada con las necesidades de la sociedad y los diferentes actores de la ciudad: residentes, turistas, etc.

La transformación digital nos ha enseñado que es de vital importancia construir desde la necesidad (visión basada en la empatía y humanismo) y no desde la posibilidad (visión basada en la tecnificación e incorporación de tecnologías).

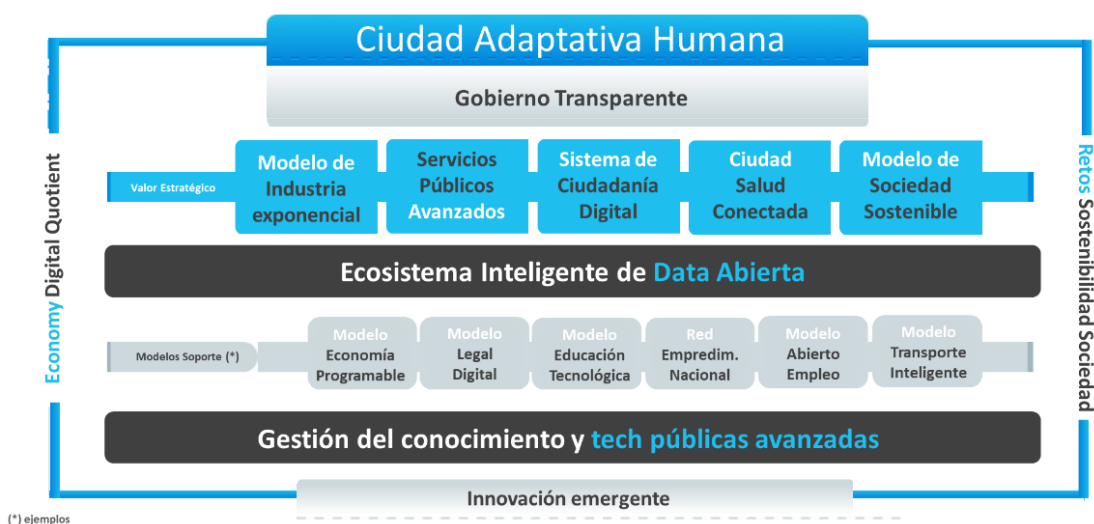
Además, como sociedad estamos ante retos globales como las pandemias, los efectos del cambio climático, incertidumbres socioeconómicas, fenómenos meteorológicos extremos, retos empresariales, evolución de la tecnología, etc. que incrementan la importancia de la ciudad como un elemento de proximidad, sostenible, resistente, accesible, amable, pero flexible para abordar todos los retos existentes en el corto y medio plazo.

El concepto de ciudad inteligente es un ejemplo de construcción desde la posibilidad que ha permitido la digitalización de muchos dominios funcionales de la ciudad, proporcionando una información de valor en condiciones estacionarias. En un contexto de cambio continuo, de total incertidumbre, se requiere habilitar a las ciudades con herramientas que respondan al dinamismo existente y llevarlo a cabo con agilidad en los aspectos digitales y físicos del modelo operativo urbano. Es fundamental la conexión entre el mundo digital y físico, porque la agilidad digital carece de sentido en un contexto de fragilidad de la infraestructura física.

Estas reflexiones a la necesidad de redefinir el concepto de ciudad. Las ciudades han de convertirse en ciudades adaptables, ciudades capaces de responder dinámicamente a todos estos cambios y perturbaciones.

Este concepto de adaptabilidad, en función del contexto de la ciudad, responde a diferentes objetivos de actuación: crecimiento económico, habilitación de espacios sostenibles e inteligentes, mejora sustancial de la calidad de vida, políticas de igualdad e inclusión, etc.

A continuación, se muestra un marco de referencia de ciudad adaptativa humana:



El concepto de ciudad adaptativa y humana se alcanza cuando se dispone de una visión completa y en tiempo real de la ciudad, como consecuencia de afrontar los retos de una forma integral, lo que facilita la adaptación y respuesta eficiente a las necesidades cambiantes de los habitantes y contribuye a crear entornos urbanos inclusivos, resilientes, innovadores y sostenibles centrados en las personas.

Una ciudad adaptativa establece un equilibrio entre las necesidades de las personas y los mecanismos de resiliencia, sostenibilidad y todas las condiciones políticas, económicas, sociales, tecnológicas, legales y medioambientales que deben analizarse continuamente y sobre las que hay que actuar, estableciendo herramientas de simulación para anticipar los impactos y, de verdad, colocar al ciudadano en el centro de la gestión.

En este contexto, Madrid tiene el potencial para convertirse en la ciudad adaptativa humana de referencia. El objetivo del proyecto transversal de gemelo digital es mejorar la gestión y planificación de políticas públicas, con datos precisos, en tiempo real y técnicas de modelización y aprendizaje automático, con una doble vertiente: la gobernanza digitalizada de las decisiones de planificación de políticas públicas y servicios de la ciudad; y de ciudadanía con un modelo centrado en la interacción con las instituciones cercanas.

Contexto internacional

A continuación, se muestra una relación de ciudades con iniciativas relevantes en el ámbito de gemelo digital. En ese sentido, cabe destacar las estrategias nacionales de gemelo digital en Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y Singapur.

De forma ejecutiva, se muestra por geografía los casos más relevantes:

América:

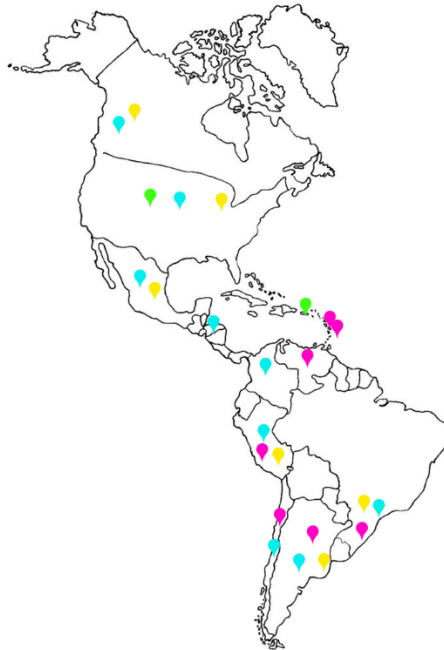
CIUDADES

WASHINGTON DC.
NEW YORK
PHILADELPHIA
CHICAGO
NEW MÉXICO USA
MIAMI
LAS VEGAS
SAN FRANCISCO
SAN DIEGO
TACOMA
NASSAU

BUENOS AIRES.
RIO DE JANEIRO
ITU
CORDOBA
BOGOTÁ
MEDELLÍN
MONTREAL
CHIHUAHUA
MONTREAL
TORONTO

PAÍSES

ESTADOS UNIDOS



Europa:

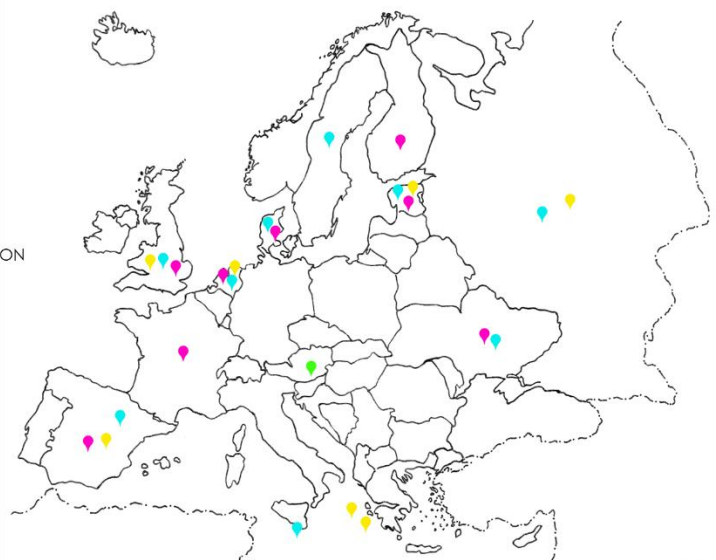
CIUDADES

MADRID
VIGO
BARCELONA
ROMA
AMSTERDAM
STUTGART
FRANKFURT
ESTOCOLMO
EINDHOVEN
HAMBURGO
COPENHAGE
GRANADA

RENNES
PARIS
BARI
MILAN
DUBLIN
ANTWERP
GRAND EST REGION
LONDRES
TEL AVIV
HELSINKI
ANTWERP

PAÍSES

REINO UNIDO
ALEMANIA
ESTONIA
LUXEMBURGO





África:

CIUDADES

HATFIELD



Asia:

CIUDADES

NEOM ARABIA SAUDÍ.
XIONG'AN
SHENZEN
KUNMING
SHANGAI
SEÚL
HONG KONG
HANGZHOU
SEJONG
TOKYO
GEORGETOWN, MALAYSIA

CHONGQING
TIANJIN BINHAI
ZHEJIANG
BEIJING
SINGAPUR



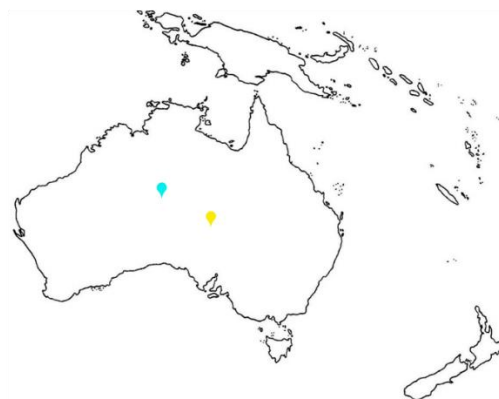
PAÍSES

CHINA
SINGAPUR

Oceanía:

CIUDADES

SYDNEY
NEW SOUTH WALES
AUCKLAND – NEW ZEALAND



3. SITUACIÓN ACTUAL

En un documento anexo, se incluyen las respuestas de los cuestionarios realizados a los diferentes delegados digitales, respecto al punto de partida que dispone cada área para abordar una iniciativa de gemelo digital.

En ese sentido, cabe destacar, entre otros, la información existente en la subdirección de innovación y planificación urbana con la iniciativa Geoportal, así como la información existente en el ámbito de Seguridad, Emergencias, Medio Ambiente y Ciberseguridad, al igual que el detalle de la información por distrito de los indicadores económicos y sociales de la subdirección de Estadística.

4. ALCANCE

Gemelo Digital

La implementación de la tecnología de Gemelo Digital está suponiendo una revolución a nivel global sin precedentes. El contexto de inserción de los servicios digitales en diferentes ámbitos, sumado al aumento de políticas públicas basadas en la evidencia, requieren de una transformación urbana que responda a los desafíos que la sociedad plantea a los gobiernos municipales.

Además, el empleo de este tipo de herramientas en el Ayuntamiento responde al diseño de políticas, iniciativas y servicios mediante el análisis de condiciones sociodemográficas, físicas y ambientales de los distritos así como a la planificación ciudadana sobre lugares, actividades de interés, opciones de movilidad, servicios y espacios en general.

La tecnología de Gemelo Digital es una representación virtual de un objeto, sistema o proceso en tiempo real, que permite realizar simulaciones, análisis y pruebas para optimizar su diseño, construcción y operación. Es por esto por lo que la Ciudad de Madrid lo identifica como una herramienta clave para mejorar la eficiencia, la calidad y la seguridad de los servicios que ofrece a los ciudadanos.

El Gemelo se construye en función de las necesidades y casos de uso para los que se requiere. La arquitectura que le da soporte y sobre la que se desarrolla el Gemelo Digital de Madrid, es capaz de integrarse no sólo con los datos y los servicios que provee el Ayuntamiento sino también con la información externa a éste, que puedan proveer otros agentes o esté disponible en otros ámbitos, así como la posibilidad de integrar otros gemelos existentes.

Se trata de un ecosistema distribuido, interoperable, abierto, federado, descentralizado y escalable de aplicaciones inteligentes de ciudad, para facilitar la integración de múltiples fuentes y formatos de datos, diseñado por todos y para todos.

Uno de los principales retos es poner en valor las iniciativas ya existentes en el Ayuntamiento y aunar, mediante el concepto de gemelo, toda la información gracias a las capacidades de agregación que ofrece este concepto. Para ello, es fundamental habilitar una arquitectura de referencia que defina un catálogo de componentes comunes al que se dé acceso a todos los actores involucrados permitiendo la generación de un ecosistema digital que permita la reutilización, la agilidad y escalado en la gestión, simulación, análisis y aplicación de la información disponible y manejada por el Ayuntamiento.

Son numerosos los ámbitos de aplicación. A continuación, se destacan, entre otros, potenciales casos de uso de negocio que habilitará la visión del gemelo digital, de forma integral y global:

- El impulso y soporte a los planes de protección civil: creando un gemelo digital, para la prevención y detección temprana de emergencias naturales para la respuesta autónoma en determinadas situaciones.
- El soporte de la logística y coordinación de instalaciones turísticas, con el objetivo de mejorar la experiencia del turista en la ciudad, a través la recopilación de información sobre el comportamiento de los visitantes, incluyendo número de visitantes, duración exacta de la estancia y el gasto realizado en la ciudad. La información dinámica permite al Gemelo digital advertir de un aumento de visitantes en una zona determinada, o de rutas alternativas para redirigir a los turistas a otros lugares, evitando congestiones ofreciendo información valiosa sobre patrones de comportamiento.
- Soporte en la gestión del tráfico, con sensores de visión inteligente, que monitoricen recorridos y ocupación en los medios de transporte: autobús, metro y bicicletas, en aquellas zonas de alta congestión, para el estudio, adaptación y definición de horarios del transporte público o la necesidad de creación de nuevas vías de transporte.
- Simulación de escenarios y evaluación del impacto de las intervenciones municipales: con un foco especial en las personas mayores. Llevándose a cabo una simulación del envejecimiento de la población y el impacto que esto tendrá en la demanda de servicios para personas mayores. Para diseñar y validar la accesibilidad de edificios y entornos urbanos para personas mayores. Además, se podrá planificar escenarios de atención domiciliaria y/o residencial que mejoren la eficiencia de la calidad de servicios incluyendo atención médica, movilidad, alimentación y ocio.
- Planificación y simulación de la construcción de edificios inteligentes, con sensores integrados como solución efectiva para optimizar el espacio de la ciudad y mejorar la eficiencia energética. A partir de la monitorización en tiempo real del consumo de energía, calidad del aire y otros factores ambientales, aportando información de interés a las instituciones públicas encargadas de la planificación de equipamientos.

La implementación de gemelos digitales tiene múltiples utilidades para el desarrollo urbano de una ciudad como Madrid:

- Planificar y optimizar la construcción de nuevos edificios, infraestructuras de transporte y servicios públicos, lo que ayuda a reducir los costos y los riesgos asociados con la construcción en el mundo real.
- Realizar simulaciones y análisis de diferentes escenarios, como desastres naturales o cambios en el tráfico, lo que permite anticipar y mitigar los riesgos potenciales.
- Mejorar la eficiencia energética de los edificios y reducir el impacto ambiental de la ciudad en su conjunto.

Las capacidades de un Gemelo Digital van más allá de los resultados en eficiencia y sostenibilidad de la ciudad. En el largo plazo permite entre otros beneficios, dotar de una mejor calidad de vida para los ciudadanos, proveer de una mayor seguridad y reducir los costes gubernamentales.

En definitiva, la implementación de un gemelo digital solventa un gran portfolio de casos de uso, que va más allá de la simple monitorización en tiempo real e identificación de patrones al agregar información, permite además modelizar escenarios futuros y establecer nuevas políticas, según las simulaciones, para aplicar lo aprendido, lo que se puede detectar en la réplica virtual de la ciudad al ente físico.

Entre ellos, en el dominio de la movilidad (condiciones del pavimento, estado de las señalizaciones, gestión de la infraestructura, pruebas de movilidad futura de la ciudad, auditorías de accesibilidad, ...), políticas de recuperación de ingresos (cartelería pública, tasas de superficie, plazas de parking para personas de movilidad reducidas, IBI, ...) sostenibilidad (infraestructura verde, modelización de potenciales catástrofes naturales, mantenimiento de zonas verdes, ...), seguridad (seguridad pública, planificación eventos, ...)

A continuación, de forma no exhaustiva, se muestra un inventario de indicadores por diferentes dominios funcionales de una ciudad:

SEGURIDAD

- Monitorización por cámaras y drones.
- N° de sensores de movimiento y ruido para control de perímetro.
- N° de cámaras de cuerpo integradas al uniforme.
- N° de infraestructuras críticas.
- Mapeo geográfico de incidentes y localización de vehículos.
- N° de sensores de apertura de puertas y ventanas asociados a sistemas de alarma.
- Preparación situaciones emergencias.
- N° de eventos masificados.
- N° de actividades SAMUR-Protección civil.
- N° de actuaciones cuerpo bomberos.
- N° de parques de bomberos.
- N° de comisarias.
- Percepción de seguridad por distrito (día/noche).
- Número de personas detenidas e investigadas relacionadas con las personas, tenencia de armas, patrimonio, tenencia y consumo de drogas.
- N° de inspecciones y actuaciones en locales de espectáculos públicos y actividades recreativas.
- N° de expedientes instruidos por Agentes Tutores.
- N° de atestados/partes de accidentes de tráfico confeccionados.
- N° de lesiones.
- N° de casis de violencia doméstica y de género.
- N° de casos de malos tratos a menores.
- N° de casos de abusos y agresiones sexuales.

- N° de hurtos.
- N° de robos con violencia e intimidación en personas.
- N° de delitos contra la salud pública.
- N° de delitos contra la seguridad vial.

SERVICIOS BÁSICOS

- Sensores de adaptación automática iluminación urbana.
- N° de unidades luminosas.
- Inventario de instalaciones fotovoltaicas.
- Red eléctrica inteligente.
- Monitorización presión agua.
- Consumo agua.
- Nivel agua.
- Gestión de residuos.
- Recogida domiciliaria de residuos sólidos: envases y resto.
- N° de sensores volumen residuos contenedores públicos de basura – optimización flotas.
- Servicios recogida muebles, enseres y electrodomésticos.
- Servicios de limpieza o eliminación de pintadas.
- N° de aseos públicos.
- N° de cementerios.
- N° de centros Municipales Mayores.
- N° de centros Atención.
- N° de zonas wifi gratuitas.
- Nivel satisfacción ciudadanos servicios ayuntamiento.

TRANSPORTES

- N° de sensores de movimiento en las calles y carreteras.
- Control inteligente de semáforos.
- Monitorización de rutas por cámaras.
- Control de lugares de estacionamiento.
- N° de paradas de autobuses inteligentes.
- Monitorización y localización de flotas.
- N° de aparcamientos de residentes.
- N° de aparcamientos intermodales y carsharing.
- N° de accidentes de tráfico.



- Aforos de peatones y bicicletas.
- Infraestructura carriles y aparcamientos bicis.
- Flota de autobuses. Grado de ocupación.
- Estaciones de recarga vehículos eléctricos.
- N° de obras.
- N° de multas.
- Gálilos.
- Estado del pavimento y seguridad vial.
- Gestión de infraestructuras de movilidad.
- Señalización horizontal y vertical.

INFRAESTRUCTURA URBANA

- N° de edificios por antigüedad catastral.
- N° de edificios por número unidades constructivas de vivienda.
- Distribución población.
- Densidad poblacional 3D por edificios.
- N° de habitantes por nacionalidad.
- Mapas de cambios urbanos.
- N° de indicadores de composición hogares.
- Visor subvenciones Rehabilita Madrid.
- Viviendas en alquiler.
- Viviendas promocionadas.
- Tests accesibilidad urbana.

SALUD

- GPS y sistema de optimización de trayectos para ambulancias.
- N° de dispositivos de monitorización para adultos mayores.
- N° de sensores de ruido en ambiente y monitorización de caídas.
- N° de sensores de temperatura para productos médicos.
- N° de sensores de humo, gases tóxicos y rayos ultravioleta.
- Contaminación del aire.
- Alergias.
- Censo de animales domésticos.
- Índice de envejecimiento activo.
- Participación social.



- Vida independiente, saludable y segura.
- Capacidad y entornos apropiados para un envejecimiento activo.
- Hábitos y estilos de vida.
- Sedentarismo.
- Consumo de tabaco diario.
- Consumo de medicamentos.
- Indicadores de nivel de salud.
- Presencia de enfermedad crónicas.
- Personas con obesidad.
- Personas con sobrepeso.
- Personas mayores de 65 años con alguna dependencia funcional.
- Prevalencia de obesidad en la población infantil.
- Probabilidad de padecer enfermedad mental.
- Riesgo de mala salud mental en personas de 18 años o más.
- Número de personas con grado de discapacidad reconocido.

AMBIENTE

- Medidores de calidad del aire (contaminación medioambiental y nivel CO₂)
- Partículas suspensión PM_{2.5} (µgr/m³) -Valor límite: 25 µgr/m³-
- Partículas suspensión PM₁₀ (µgr/m³) -Valor límite: 40 µgr/m³-
- Dióxido de azufre - SO₂ (µgr/m³) -Valor límite: 125 µgr/m³-
- Monóxido de carbono - CO (mg/m³) -Valor límite: 10 µgr/m³-
- Ozono - O₃ (µgr/m³) -Valor límite: 120 µgr/m³-
- Dióxido de nitrógeno - NO₂ (µgr/m³) -Valor límite: 40 µgr/m³-
- Temperatura media anual (°C)
- Protocolo de contaminación: nº de episodios,
- Nº de sensores de ruido contaminación sonora.
- Nº de sensores sismográficos de temblores.
- Control de calidad del agua potable.
- Calidad agua regenerada.
- Arbolado en parques y zonas verdes.
- Superficie de zonas verdes y Parques de distrito (Ha).
- Superficie de zonas verdes y Parques de distrito (Ha) / nº de Habitantes *10.000.
- Superficie Parques Históricos, Singulares y Forestales por distrito.

- Superficie Parques Históricos, Singulares y Forestales distrito / nº Habitantes *10.000.
- Cajas nido.

DEPORTES Y CULTURA

- Grado de ocupación de unidades deportivas y plazas actividades.
- Agenda de actividades deportivas.
- Carreras urbanas.
- Calidad de las instalaciones.
- Mantenimiento predictivo.
- Agenda de ocio y eventos.
- N° de Bibliotecas Municipales.
- N° de Bibliotecas Comunidad Madrid.
- N° de Centros y Espacios Culturales.
- Instalaciones deportivas básicas.
- Centros deportivos municipales.
- Superficie deportiva m2 en centros deportivos municipales.
- Campos de fútbol 11.
- Pista de atletismo.
- Piscinas cubiertas.
- Piscinas de verano.

TURISMO

- Ocupación lugares turísticos ciudad.
- Impulso economía local.
- Rutas turísticas.
- Rutas tapas.
- Cultura.
- N° de alojamientos de la ciudad.
- Agenda turística.
- Alumbrado navideño.
- N° de oficinas de Turismo.
- N° de comercios centenarios.
- N° de mercados Municipales.
- Ocupación de terrazas.

EDUCACIÓN



- N° de escuelas Infantiles Municipales.
- N° de escuelas Infantiles Públicas CAM y Municipales.
- N° de escuelas Infantiles Privadas.
- N° de colegios Públicos Infantil y Primaria.
- N° de institutos Públicos de Educación Secundaria.
- N° de colegios Privados Inf. o Pri. o Inf. y Pri.
- N° de colegios Privados Inf., Pri. y Sec. o Pri. y Sec.
- N° de universidades.
- N° de residencias.
- N° de colegios Mayores.

EMPLEO

- Renta y vulnerabilidad social.
- Renta neta media anual de los hogares.
- Tasa de riesgo de pobreza o exclusión social.
- Tasa de desempleo.
- Tasa absoluta de paro registrado.
- Parados de larga duración.

ECONOMÍA

- N° de mercados municipales.
- Cartelería pública, letreros municipales.
- Ocupación del Espacio Público (Terrazas – Andamios).
- Permisos de aparcamiento (Vados – Aforo).
- Valoración del impuesto sobre bienes inmuebles.

PLANIFICACIÓN URBANA

- N° de edificios por antigüedad catastral.
- N° de edificios por número unidades constructivas de vivienda.
- Distribución población.
- Densidad poblacional 3D por edificios.
- Habitantes por nacionalidad.
- Mapas de cambios urbanos.
- Indicadores de composición hogares.
- Visor subvenciones Rehabilita Madrid.

- Viviendas en alquiler.
- Viviendas promocionadas.
- Tests accesibilidad urbana.

SOCIAL

- Índice de desigualdad de género.
- Esperanza de vida.
- Edad media por distrito.
- Población.
- Proporción de inmigrantes extranjeros.
- Calidad de vida y agenda pública.
- Satisfacción de vivir en su barrio.
- Calidad de vida actual en su barrio.
- Convivencia vecinal.
- Satisfacción con los servicios públicos (espacios verdes, parques infantiles, centros culturales, instalaciones deportivas y servicios sociales municipales).
- Principales problemas de la ciudadanía.
- Servicios sociales.
- N° de personas atendidas en la Unidad de Primera Atención en Centros de Servicios Sociales.
- Solicitudes tramitadas de Renta Mínima de Inserción.
- N° de personas perceptoras de prestación de la Renta Mínima de Inserción.
- N° de personas Mayores.
- N° de personas con Servicio de Ayuda a Domicilio.
- N° de personas socias de los Centros Municipales de Mayores.
- Familias atendidas por el Equipo de Trabajo con Menores y Familia.
- Demandas de intervención en los Centros de Atención a la Infancia.
- Menores atendidos por el Servicio de Ayuda a domicilio a Menores y Familias.
- Centros de Servicios Sociales.
- Centros Municipales de Mayores.
- Centros de Día de Alzheimer y Físicos.
- Apartamentos Municipales para Mayores.
- Residencias para personas Mayores.
- Centros de Apoyo a las Familias (CAF).
- Centros de Atención a la Infancia (CAI).

- Centro de Día de Atención a Niños y Niñas (de 3 a 12 años).
- Espacios de Ocio para Adolescentes.
- Centros de Adolescentes y Jóvenes.
- Centros para personas sin hogar.

5. DEMOSTRADORES

Espacio virtual demostrador

En el marco del proyecto transversal de gemelo digital, se considera esencial habilitar un mecanismo de comunicación interna, que permita visualizar casos de uso de impacto, con el fin de asegurar el entendimiento de todos los actores involucrados en la iniciativa.

Este vehículo permitirá explorar el potencial y la mejor aplicación de las casuísticas definidas acelerando la adopción interna, permitiendo la definición del escenario aspiracional, así como facilitando la agregación de muchas iniciativas de valor ya existentes.

Este espacio virtual demostrador no será evolucionado a ningún entorno productivo real, pues es una herramienta clave en la gestión del cambio y comunicación interna, en la fase de definición de la estrategia de gemelo digital.

El espacio virtual demostrador se apoyará en una arquitectura de referencia de gemelo digital sobre la cual se montarán casos de uso tanto para el ámbito de gemelo digital, donde se incorporará una solución avanzada de visualización.

El Espacio Virtual Demostrador de gemelo digital incluirá una herramienta de visualización 3D que enriquecerá, de forma significativa, la visualización de los casos de uso mediante un enfoque diferenciador.

Las ventajas del empleo de una herramienta de visualización avanzada son múltiples: proporcionar una representación digital detallada, facilitar la colaboración remota, permitir recorridos virtuales y comparaciones precisas, y reducir las visitas al sitio, optimizar el rendimiento de las instalaciones, mejorar la planificación urbana y ahorrar tiempo y costos valiosos.

A continuación, se describen algunas de estas características y cómo benefician el entorno urbano.

- **Representación digital detallada del espacio físico:**

La herramienta de visualización avanzada proporciona una representación digital precisa y detallada del espacio físico de la ciudad. Esto permite a los responsables de la planificación urbana visualizar y analizar el entorno de manera virtual, lo que a su vez les ayuda a tomar decisiones informadas para optimizar el rendimiento de las instalaciones. Al tener una representación digital precisa, se pueden identificar áreas de mejora y realizar ajustes antes de implementar cambios en el entorno físico real.

- **Visualización de espacios físicos y diseños de proyectos:**

Esto es útil para colaboradores y equipos de proyecto, ya que reduce la necesidad de visitar el sitio. Al compartir visualizaciones digitales, los colaboradores pueden examinar y

discutir los detalles del proyecto sin tener que desplazarse físicamente al lugar, lo que ahorra tiempo y costos asociados con los desplazamientos.

- **Test de accesibilidad personas movilidad reducida:**

Utiliza modelos precisos para simular cómo las personas con movilidad reducida pueden moverse y acceder a diferentes áreas de la ciudad. Los usuarios pueden visualizar virtualmente cómo sería la experiencia de una persona con discapacidad en términos de desplazamiento, acceso a edificios, uso de ascensores o rampas, entre otros.

- **Acceso remoto a recorridos virtuales: ofrece la posibilidad de acceder de forma remota a recorridos virtuales de proyectos:**

Esto significa que cualquier persona interesada en el proyecto, como inversores, funcionarios públicos o residentes de la ciudad, puede experimentar una visita virtual inmersiva al proyecto. Esto permite una mayor transparencia y participación de la comunidad, ya que las partes interesadas pueden comprender mejor el proyecto y proporcionar comentarios o sugerencias constructivas.

- **Comparación rápida de entornos construidos y modelos de diseño:**

La herramienta permite comparar rápidamente los entornos construidos con los modelos de diseño inicial. Esto es valioso en la construcción y desarrollo urbano, ya que identifica y aborda cualquier discrepancia entre el diseño inicial y la real. Al detectar varianzas temprano, se pueden tomar medidas correctivas de manera oportuna para evitar retrasos en los proyectos y posibles problemas futuros.

- **Reducción de visitas físicas al sitio y ahorro de tiempo y costos:**

Se elimina la necesidad de realizar múltiples visitas físicas al sitio. Esto ahorra tiempo y costos asociados con los desplazamientos, ya que las partes interesadas pueden acceder y revisar la información y visualizaciones digitales desde cualquier lugar. Además, al evitar visitas innecesarias, se reduce la huella de carbono y se fomenta la sostenibilidad ambiental.

En el Espacio Virtual Demostrador se desplegará una arquitectura de referencia para iniciativas de gemelo digital, cuyo detalle se incluye en el capítulo posterior. Se trata de un modelo agregador e integrador que busca adaptarse a las diferentes necesidades de evolución, con foco en la estandarización y escalabilidad. Es un modelo modular (catálogo de componentes comunes).

6. ARQUITECTURA. CATÁLOGO DE COMPONENTES Y SERVICIOS.

Introducción visión tecnológica de un gemelo digital

El concepto de Gemelo Digital (en adelante, GD) permite la interconexión de entidades físicas y sus representaciones virtuales, lo que facilita el intercambio de datos, la cooperación y la agregación de información para obtener conocimientos compuestos. Sin embargo, el GD enfrenta desafíos de seguridad y privacidad, así como fallos conocidos/desconocidos que dificultan su implementación. A continuación, se describe la revisión detallada a nivel tecnológico de un GD, incluyendo su arquitectura, tecnologías habilitadoras y problemas de seguridad/privacidad. También se analiza una arquitectura distribuida de GD con interacciones entre el mundo virtual y el mundo físico, dónde se examinan las amenazas de seguridad y privacidad, y se revisan los enfoques de defensa más avanzados. Por último, se señalan las nuevas tendencias y direcciones de implementación relacionadas con GD.

Elementos técnicos de un gemelo digital

Elementos principales

La implementación de una arquitectura de Gemelo Digital implica tener en cuenta los siguientes tres elementos o agrupaciones técnico-funcionales:

- **Elementos físicos** asociados a las entidades en el espacio físico real.
- **Representación virtual** en forma de software en el espacio cibernético.
- **Tecnologías habilitadoras** que vinculan los mundos cibernético y físico a través de los datos masivos de entrada y la retroalimentación de salida.

Elementos técnicos físicos

Dentro del espacio físico real, los elementos físicos se pueden clasificar en cuatro tipos principales:

- **Elementos de sensorización y detección:** sensores de IoT, medidores inteligentes y dispositivos portátiles, cuyo objetivo es recopilar datos en tiempo real de entidades y el entorno físico. (por ejemplo, un vehículo autónomo puede tener múltiples sensores avanzados, como cámaras para una vista de 360 grados del entorno y LiDAR para la detección de objetos en tiempo real y la medición de distancia).
- **Elementos de control:** ejecutan instrucciones o acciones relevantes según las decisiones enviadas desde la capa cibernética (por ejemplo, una válvula de control en un sistema de suministro de agua que regula el flujo de agua según las instrucciones recibidas de la capa cibernética).
- **Elementos híbridos:** entidades que desempeñan ambos roles de detección y control simultáneamente. (Por ejemplo, un dron equipado con cámaras y sensores que pueden recopilar datos visuales y ambientales mientras también puede recibir comandos de vuelo para realizar tareas específicas).

- **Elementos de infraestructura:** incluyen infraestructuras de red, infraestructuras de computación, etc. (Por ejemplo, las líneas de transmisión de energía eléctrica que forman parte de la infraestructura de red, las torres de comunicación que permiten la conectividad inalámbrica y los servidores de computación que proporcionan capacidad de procesamiento y almacenamiento para sistemas de IoT).

Representación virtual

En el ámbito de la representación virtual de un Gemelo Digital, es importante comprender la diferencia entre una **representación almacenada** y una **representación computacional**. Una representación almacenada se refiere a datos que pueden ser consultados y accedidos directamente, mientras que una representación computacional requiere ejecución para producir resultados.

Las representaciones almacenadas proporcionan una forma eficiente de acceder y consultar datos almacenados previamente, mientras que las representaciones computacionales requieren ejecución para generar resultados y pueden ser útiles para realizar operaciones más complejas sobre los datos almacenados. Ambos tipos de representaciones tienen su lugar en el desarrollo de software para Gemelos Digitales y se utilizan de manera complementaria según las necesidades específicas del sistema y las operaciones requeridas.

Representaciones almacenadas

Toman diversas formas, entre ellas, bases de datos de todo tipo, como bases de datos relacionales, bases de datos de grafos y otras bases de datos NoSQL. También incluyen "historiadores de datos" de IoT, repositorios especializados de CAD (diseño asistido por computadora), BIM (modelado de información de construcción) y GIS (sistemas de información geográfica), mallas tridimensionales derivadas de fotogrametría y/o nubes de puntos, imágenes de satélite o radar, hojas de cálculo, dibujos inteligentes en 2D y esquemas, entre otros ejemplos.

En contraste, una representación computacional requiere de un proceso de ejecución o cálculo para obtener resultados. Por ejemplo, un programa o algoritmo puede procesar los datos almacenados en una representación almacenada y generar nuevos resultados o transformaciones basadas en reglas predefinidas.

La ventaja de las representaciones almacenadas es que permiten un acceso rápido y eficiente a los datos, ya que no es necesario ejecutar cálculos complejos cada vez que se accede a ellos. Por otro lado, las representaciones computacionales son útiles cuando se necesita realizar operaciones más avanzadas o transformaciones en los datos, ya que permiten ejecutar algoritmos personalizados sobre los datos almacenados.



Imagen 2: Áreas y competencias

Algunos ejemplos de uso:

- Bases de datos.
- CAD/CAM.
- BIM.
- GIS.
- Nube de puntos.
- IoT Streams / Series temporales.
- Histórico.

Representaciones computacionales

Una representación computacional es una representación virtual ejecutable que consta de algoritmos computacionales y datos de apoyo, y que representa algún tema desde una perspectiva dinámica.

Cuando se ejecutan (también conocidas como "ejecución"), las representaciones computacionales a menudo toman representaciones almacenadas como entrada y sus algoritmos computacionales producen representaciones almacenadas como salida.

Además, las representaciones computacionales pueden utilizar datos de referencia, que no son más que otro ejemplo de una representación almacenada.

Este tipo de representaciones computacionales son esenciales para capturar y simular el comportamiento dinámico de sistemas en el espacio cibernético. Estas representaciones incluyen tanto los algoritmos computacionales como los datos necesarios para modelar y simular un tema específico. Al ejecutar estas representaciones, podemos obtener resultados y salidas basadas en los datos de entrada. Esto nos permite comprender cómo se comporta el sistema en tiempo real y realizar análisis predictivos. Además, el uso de datos de referencia nos permite incorporar información adicional o externa que pueda influir en el comportamiento de nuestro modelo digital. Las representaciones computacionales permiten crear gemelos digitales capaces de interactuar con el mundo físico y proporcionar información valiosa para la toma de decisiones y optimización de sistemas.



Algunos ejemplos de uso:

- Simulaciones.
- Análisis predictivos.
- Análisis de elementos finitos (FEA).
- Regresión lineal.
- Regresión logística.
- Redes Neuronales.
- Árboles de decisión.

Tecnologías habilitadoras

La integración e interacción bidireccional entre las entidades físicas y sus Gemelos Digitales es facilitada por diferentes tecnologías habilitadoras. Estas tecnologías se basan en la convergencia de diversas tecnologías emergentes, como IoT, almacenamiento y análisis de datos, IA, visualizaciones 2D/3D, tecnología de la cadena de bloques, etc. para proporcionar una infraestructura sólida.

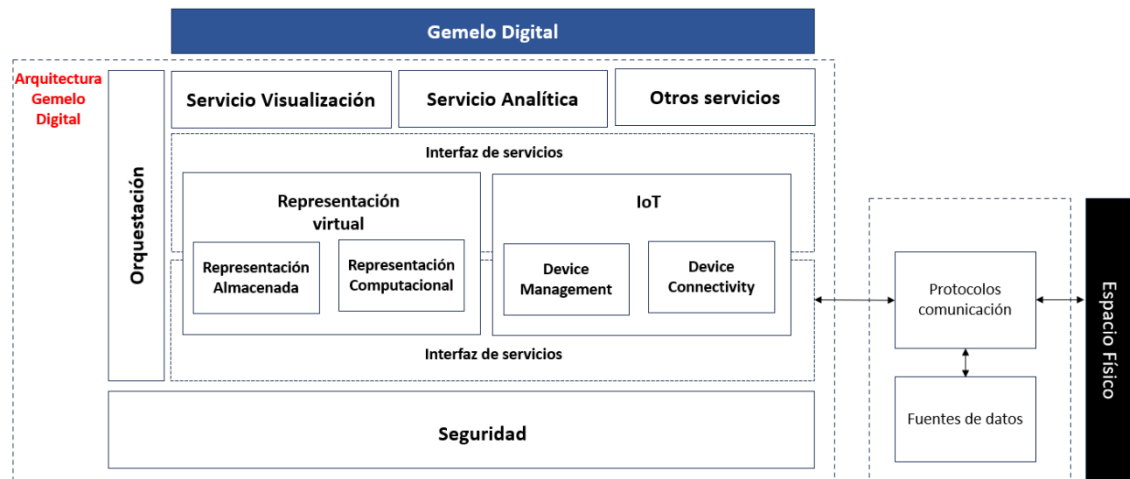
Los Gemelos Digitales son réplicas virtuales altamente precisas en el espacio cibernético. Actúan como representaciones digitales completas, permitiendo una comprensión profunda del comportamiento, rendimiento y estado actualizado de las entidades físicas en tiempo real.

Las Tecnologías Habilitadoras de Gemelo Digital utilizan los datos recopilados por los elementos físicos para modelar, crear, mantener y actualizar continuamente los Gemelos Digitales, incluyendo los recursos virtuales asociados. Esta retroalimentación constante garantiza que los Gemelos Digitales sean representaciones precisas y actualizadas de sus contrapartes físicas.

Al aprovechar tecnologías como IoT, IA, almacenamiento de datos, visualizaciones y Blockchain los Gemelos Digitales son capaces de procesar grandes volúmenes de datos provenientes de las entidades físicas. Estos datos se analizan de manera eficiente para generar información valiosa utilizada en la toma de decisiones y en la optimización de las operaciones en el mundo físico. Esto genera beneficios significativos en términos de mejora del rendimiento, optimización de recursos y toma de decisiones.

Arquitectura de referencia de un gemelo digital.

Diagrama general de la arquitectura de referencia



Gemelo Digital como servicio

El enfoque de gemelo digital como servicio es una forma de unir los elementos físicos, la representación virtual y las tecnologías habilitadoras en un sistema integrado.

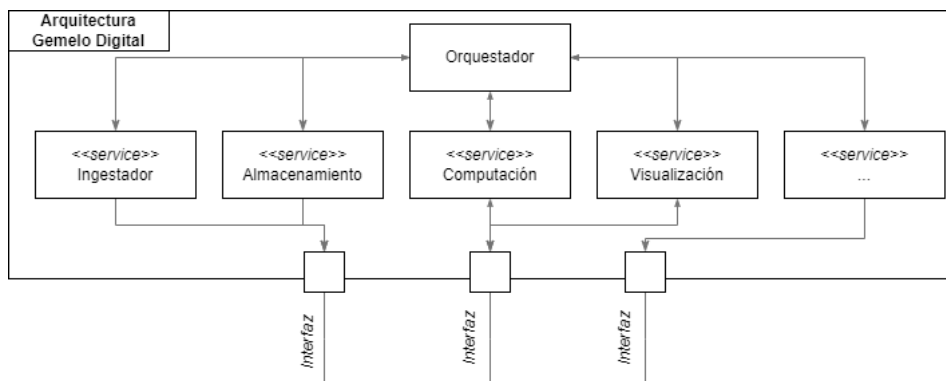
En este enfoque, los elementos físicos se conectan a través de sensores y dispositivos de IoT para recopilar datos en tiempo real del entorno físico. Estos datos se utilizan como entrada en las tecnologías habilitadoras para procesar y analizar la información y generar una representación virtual del sistema.

En lugar de tener un único Gemelo Digital monolítico que representa todo el sistema, se descompone en servicios / componentes más pequeños y manejables. Cada servicio representa una parte o capacidad específica del sistema y proporciona las interfaces necesarias para interactuar con él. Cada servicio puede gestionarse y actualizarse de forma independiente, lo que permite una mayor flexibilidad y adaptabilidad.

La representación virtual generada por los servicios del gemelo digital como servicio actúa como una réplica digital altamente precisa de las partes físicas correspondientes. Estas representaciones virtuales capturan el comportamiento, rendimiento y estado actualizado de los elementos físicos en tiempo real.

Las tecnologías habilitadoras permiten el procesamiento de grandes volúmenes de datos provenientes de los elementos físicos y la generación de información valiosa. Estas tecnologías también facilitan la personalización y adaptabilidad de cada servicio del gemelo digital, ya que pueden adaptarse a las necesidades específicas de la parte del sistema que representan.

En conjunto, el enfoque de gemelo digital como servicio permite la integración de los elementos físicos, la representación virtual generada y las tecnologías habilitadoras en un sistema modular y flexible. Esto genera beneficios significativos en términos de comprensión, control y optimización del sistema en entornos complejos y dinámicos.



Principios de Arquitectura

En los siguientes requisitos de arquitectura se describen los principios y consideraciones clave para el diseño de una arquitectura modular y robusta. Estos requisitos abordan aspectos como la modularización de componentes, la ocultación de información, la separación de preocupaciones, el acoplamiento débil, la alta cohesión y los principios SOLID. Además, se describen diferentes patrones de comunicación entre los componentes del sistema, teniendo en cuenta factores como la naturaleza de los módulos, la complejidad de los datos, la sincronización o asincronía, las consideraciones de red y los requisitos de rendimiento. Estos requisitos son fundamentales para crear sistemas escalables, mantenibles y flexibles.

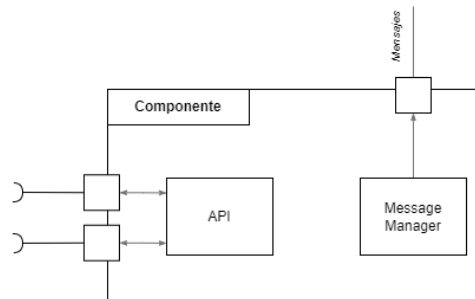
Estructura de los componentes:

- **Modularización de componentes:** Los componentes del sistema deben estar organizados de manera modular, lo que permite una fácil separación y reutilización de funcionalidades.
- **Ocultamiento de información y encapsulación:** Los componentes deben ocultar su implementación interna y exponer solo las interfaces necesarias para interactuar con ellos. Esto promueve la seguridad y el mantenimiento independiente de los componentes.
- **Separación de preocupaciones (SoC):** Los componentes deben estar diseñados de manera que cada uno se ocupe de una única responsabilidad o preocupación. Esto mejora la claridad, mantenibilidad y capacidad de prueba del sistema.
- **Acoplamiento débil:** Los componentes deben estar acoplados de manera flexible, lo que significa que deben depender lo menos posible entre sí. Esto facilita los cambios y actualizaciones en el sistema sin afectar a otros componentes.
- **Alta cohesión:** Los componentes deben estar cohesionados, es decir, sus funcionalidades internas deben estar relacionadas y enfocadas en un propósito común. Esto mejora la comprensión y el mantenimiento del código.
- **Principios SOLID:** Los componentes deben seguir los principios SOLID (Single Responsibility, Open-Closed, Liskov Substitution, Interface Segregation, Dependency Inversion) para promover la modularidad, la flexibilidad y la extensibilidad del sistema.

Comunicación entre componentes:

El patrón de comunicación entre los componentes depende de varios factores, como la naturaleza de los módulos, la complejidad de los datos que necesitan comunicarse, la necesidad de sincronización o asincronía, consideraciones de red y requisitos de rendimiento:

- API: Un módulo puede llamar directamente a una función o método proporcionado por otro módulo. Esta es la forma más simple y directa de comunicación entre módulos.
- Patrón Publicar-Subscribir (Pub-Sub): Los módulos publican mensajes en canales, y otros módulos (suscriptores) se suscriben a estos canales para recibir los mensajes.



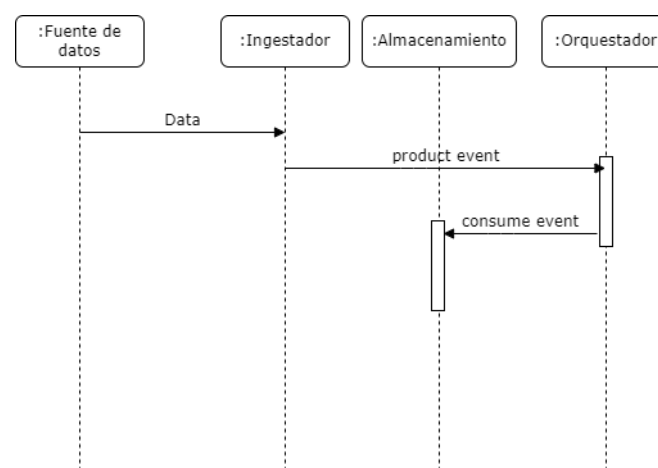
Componentes principales

Ingestador

La ingestión de datos de dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) u otros conectores de fuentes de datos se refiere al proceso de recolección, procesamiento e integración de datos en tiempo real provenientes de una variedad de dispositivos inteligentes y fuentes de datos.

Los dispositivos IoT, equipados con sensores y software, recopilan una amplia gama de datos del entorno físico. Transmiten los datos recopilados, generalmente a través de protocolos/conexiones estándar (AMQP, MQTT, HTTP, Websocket, Kafka, entre otros). Estos datos pueden enviarse de forma continua, a intervalos regulares o basados en condiciones.

Posibilidad de generación de datos sintéticos. Estos son datos generados artificialmente que se utilizan para simular condiciones difíciles de medir directamente o que no han ocurrido.



Posibles integraciones e implementaciones técnicas:

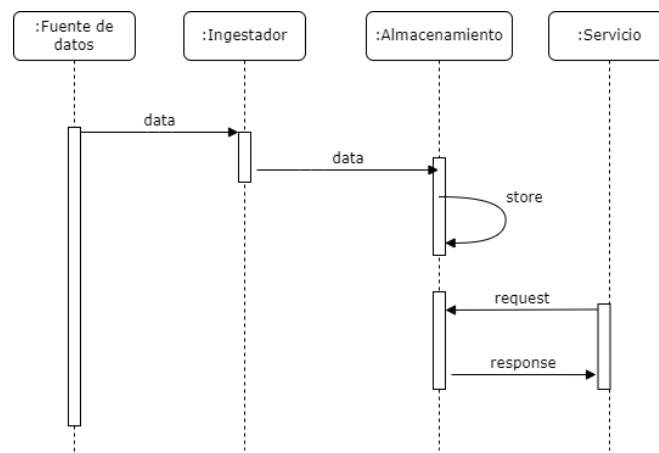
- Direct Device-to-Cloud Communication.
- IoT Gateway / IoT Data Platforms.
- Colas de mensajes y Stream Processing Systems.

- APIs.
- Batch Processing.
- File Transfer.

Almacenamiento

Para almacenar datos, analizar datos y procesar, los Gemelos Digitales son fundamentales en aprovechar el potencial de la cantidad de datos generado por las diferentes fuentes de datos y entidades físicas.

- Almacenamiento de datos: El Gemelo Digital funciona como un repositorio centralizado para los datos recopilados de diversas fuentes, como sensores, dispositivos IoT y sistemas empresariales.
- Análisis de datos: Aprovechando el análisis avanzado y los algoritmos de aprendizaje automático, los Gemelos Digitales procesan y analizan los datos agregados para identificar patrones, tendencias y anomalías.
- Procesamiento de datos: Los Gemelos Digitales facilitan el procesamiento de datos en tiempo real, lo que permite a las organizaciones monitorear continuamente el rendimiento de los activos y las operaciones.



Posibles casos de uso:

- Mantenimiento predictivo mejorado.
- Toma de decisiones informada.
- Monitoreo y análisis continuo.
- Decisiones basadas en datos.
- Datos históricos.

Computación

Los Gemelos Digitales se encargan de predecir los estados o comportamientos futuros de las entidades físicas, según los datos actuales e históricos del sistema real y de su contraparte digital.

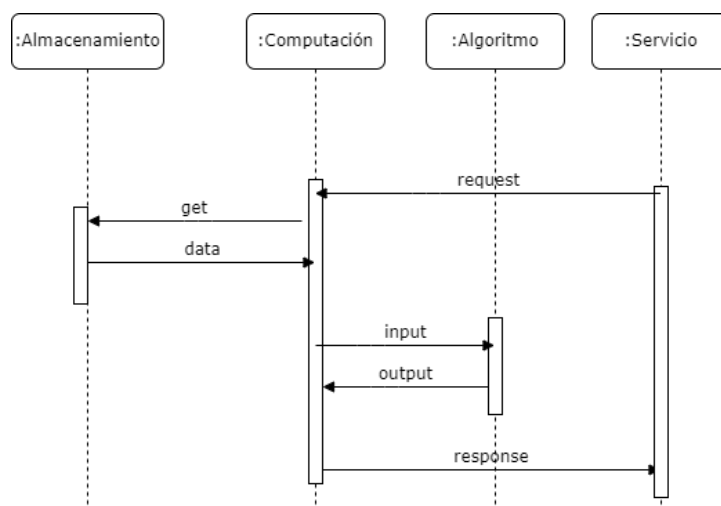
El Módulo de computación es capaz de predecir de manera precisa el estado o comportamiento futuro del sistema, utilizando los datos proporcionados por el gemelo digital. Se emplean

técnicas de aprendizaje automático y monitoreo en tiempo real para simular y pronosticar el comportamiento de una entidad o sistema físico. El modelo de predicción se entrena utilizando diversas técnicas de aprendizaje automático o estadísticas.

Entre los modelos comúnmente utilizados se incluyen los modelos de regresión, modelos de series temporales, redes neuronales, árboles de decisión o métodos de conjunto. Estos modelos permiten analizar y procesar los datos históricos y actuales del gemelo digital para generar predicciones confiables sobre su comportamiento futuro.

El objetivo de los gemelos digitales y el módulo de predicción es proporcionar información valiosa para la toma de decisiones y la optimización de procesos. Al anticipar los posibles estados futuros del sistema físico, se pueden identificar y abordar de manera proactiva problemas o ineficiencias antes de que se manifiesten en el mundo real.

El módulo de computación se responsabiliza de manera fundamental en la anticipación y comprensión de los futuros estados y comportamientos de las entidades físicas. A través de técnicas de aprendizaje automático y el análisis de datos históricos, estos modelos proporcionan una visión integral y precisa que permite optimizar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia operativa.



Posibles casos de uso:

- Modelos predictivos.
- Entrenamiento y actualización de modelos.
- Generación de predicción.
- Escenarios what-if.
- Simulaciones avanzadas.

Visualización

El Gemelo Digital es una representación virtual de un sistema físico que permite simular y analizar su comportamiento en tiempo real. Sin embargo, para que esta poderosa herramienta sea útil para los usuarios finales, es necesario presentar la información de manera comprensible y visualmente atractiva.

El Gemelo Digital actúa como interfaz entre el modelo del gemelo digital, que contiene una gran cantidad de datos, y el usuario final, transformando datos complejos en formatos visualmente comprensibles.

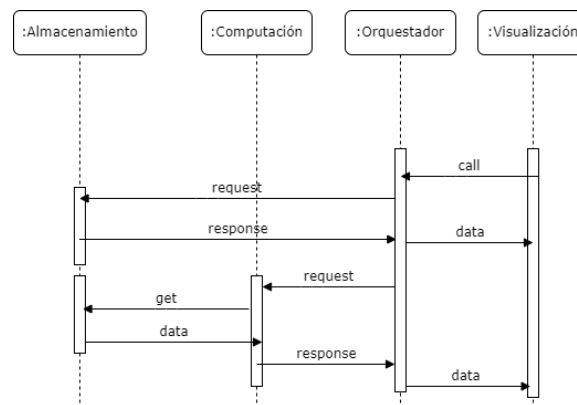
Existen diferentes visualizaciones que se pueden utilizar de forma individual o combinada para comprender el sistema físico que el Gemelo Digital representa.

La elección del tipo de visualización depende de la aplicación específica y de los conocimientos necesarios. Existen varias formas de visualizar un Gemelo Digital, que varían según el caso de uso específico, la complejidad del objeto y los requisitos del usuario.

Algunos ejemplos de visualizaciones comunes incluyen representaciones gráficas en 2D o 3D del sistema físico, gráficos interactivos, diagramas de flujo, tablas comparativas, e incluso realidad aumentada o realidad virtual. Estas visualizaciones permiten al usuario final comprender de manera más clara y concisa el funcionamiento y el estado del sistema físico en tiempo real.

Además, las visualizaciones pueden proporcionar información adicional, como indicadores de rendimiento clave, alertas, tendencias históricas, análisis de datos en tiempo real, y más. Esto ayuda al usuario a tomar decisiones informadas, identificar problemas potenciales y optimizar el rendimiento del sistema físico.

La visualización adecuada de un Gemelo Digital es fundamental para que los usuarios finales puedan comprender y utilizar eficazmente los datos ricos en información que contiene. Al presentar los datos de manera visualmente atractiva y comprensible, se facilita la interacción y el análisis, lo que permite aprovechar al máximo las capacidades del Gemelo Digital.



Posibles integraciones e implementaciones técnicas:

- Dashboards.
- Modelos 3D.
- Diagramas de flujo de procesos.
- Mapeo geoespacial.
- Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR).

Orquestador

En el contexto de los Gemelos Digitales, un componente clave para la orquestación de los diferentes servicios y la seguridad de la comunicación es el orquestador. Este actúa como un enlace entre varias APIs, consolidándolas en una interfaz unificada. Su función principal es gestionar la complejidad de las interacciones entre servicios, proporcionando una interfaz simplificada y coherente a una colección de APIs.

El orquestador despliega servicios vía API que pueden llamar otros componentes o servicios. Estos servicios de API representan diferentes funciones y capacidades ofrecidas por los sistemas subyacentes. Al exponer estas APIs, permite a otros componentes comunicarse y acceder a las funcionalidades necesarias para cumplir sus tareas.

Además de actuar como intermediario entre las APIs, también se encarga de manejar las reglas de negocio asociadas a la organización o al dominio específico. Estas reglas encapsulan las operaciones, restricciones y procedimientos aplicables a las actividades empresariales, asegurando que se cumplan las políticas y los requisitos establecidos.

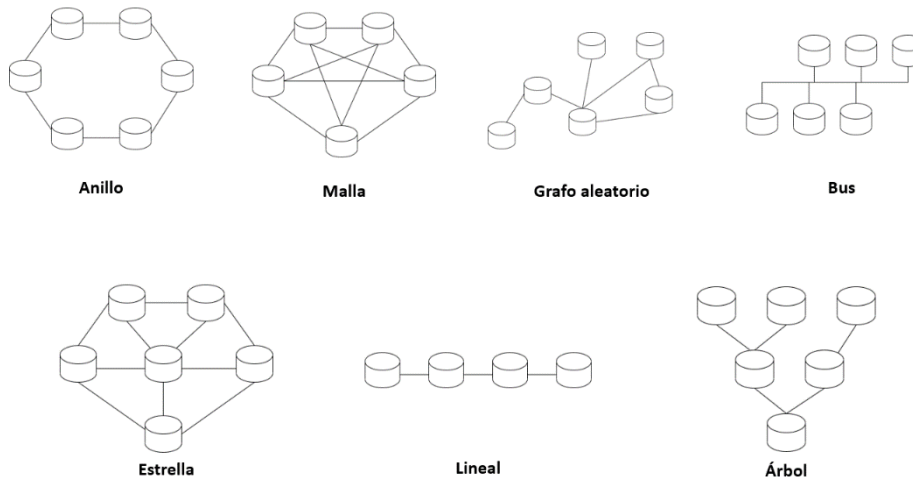
La integración empresarial es otro aspecto fundamental en los Gemelos Digitales. Este componente se encarga de conectar sistemas dispares dentro de una organización, permitiendo que se comuniquen y trabajen juntos de manera armoniosa. Esto implica la interacción con sistemas y servicios heterogéneos, lo que requiere una gestión eficiente de los protocolos y formatos de comunicación utilizados por cada uno.

En cuanto a la seguridad, desempeña un papel crucial al garantizar la protección de la comunicación entre los diferentes componentes y servicios. Esto implica la aplicación de mecanismos de autenticación, autorización y cifrado para salvaguardar la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos. Además, gestiona el manejo de errores entre las APIs, asegurando que los fallos en una API no afecten negativamente a otras partes del sistema.

Este tipo de componente en los Gemelos Digitales actúa como una capa de orquestación que simplifica y gestiona las interacciones entre servicios y APIs. Proporciona una interfaz unificada, expone servicios de API, administra reglas de negocio y facilita la integración empresarial. Además, asegura la seguridad de la comunicación y el manejo adecuado de errores.

Topologías de integración de Gemelos Digitales.

Las topologías de integración de Gemelos Digitales se refieren a la forma en que se conectan y comunican los distintos gemelos digitales dentro de un ecosistema. Estas topologías determinan la estructura y los patrones de interacción entre los gemelos, lo que permite una colaboración efectiva y el intercambio de información en tiempo real en función del contexto y el caso de uso. La arquitectura debe permitir la implementación y uso de diferentes topologías de integración en función del contexto y caso de uso.



Anillo.

La topología en anillo es una implementación simple que podría ser adecuada para sistemas de gemelos digitales más pequeños. Es fácil de expandir, ya que solo es necesario asignar dos nuevas conexiones a un nuevo gemelo participante. Sin embargo, la falla de un solo gemelo rompe el anillo y puede causar problemas de comunicación.

Grafo aleatorio.

El uso de un grafo aleatorio tiene la ventaja de que las conexiones o divisiones de los segmentos pueden adaptarse a los requisitos o al dominio. También tiene una buena resiliencia, ya que la falla de un componente no resulta en una falla completa del sistema.

Malla.

La topología totalmente mallada puede ser muy efectiva y segura debido a la alta densidad de interconexión de redes, por lo que es adecuada para sistemas más pequeños. Sin embargo, agregar nuevos registros lleva mucho tiempo debido al gran número de conexiones requeridas.

Bus.

La topología de bus es una estructura simple que es fácil de ampliar. Es muy segura en caso de fallos, ya que el fallo de un componente no afecta a todo el sistema. Sin embargo, una interrupción en la conexión tiene varias consecuencias, y el uso de métodos de acceso complejos es otra desventaja.

Árbol.

Debido a su estructura, la topología en árbol ofrece la opción de dividir los Gemelos Digitales. Forma una estructura simple y fácilmente expandible con un nivel medio de seguridad contra fallos y cableado denso.

Lineal.

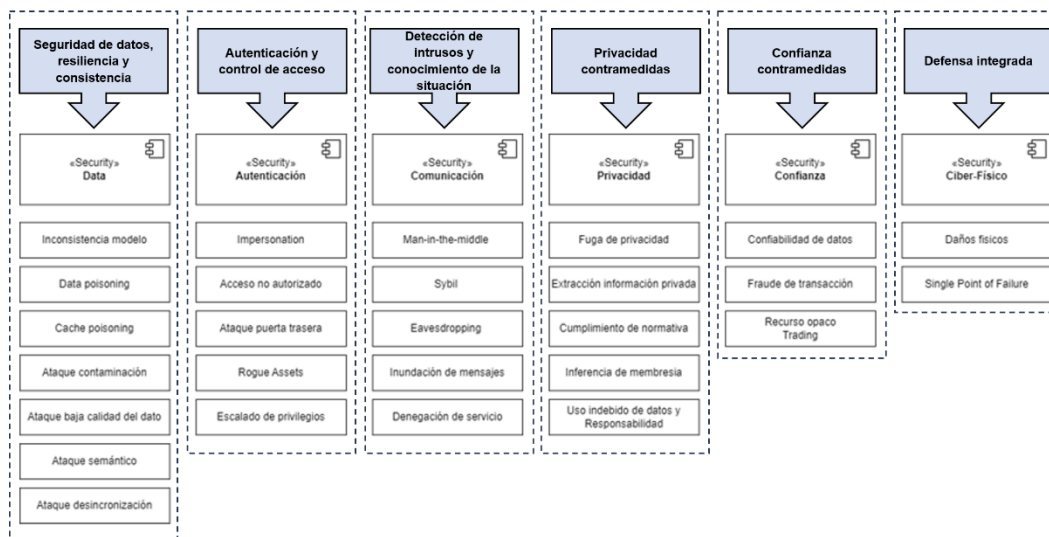
La topología en línea proporciona una estructura simple y fácilmente ampliable. Sin embargo, la seguridad ante fallos es muy pobre aquí porque la conexión entre los Gemelos Digitales se interrumpiría si uno de los componentes falla.

Estrella

La topología en estrella implementa una interconexión muy efectiva. Es fácil de ampliar y ofrece una buena confiabilidad, excepto si falla el componente central. También representa un enfoque muy centralizado.

Seguridad

En esta sección hay una taxonomía de amenazas a la seguridad/privacidad en la arquitectura de Gemelo Digital que se considerará para implementar diferentes contramedidas desde estas perspectivas: datos, autenticación, comunicación, privacidad, confianza y ciber física.



Seguridad de datos, resiliencia y consistencia.

Potenciales amenazas relacionadas con la manipulación del proceso de modelado del gemelo y la inferencia de la privacidad de los gemelos digitales en la cooperación entre ellos. Este escenario se refiere a la posibilidad de que un servidor malintencionado distribuya diferentes parámetros de modelo a diferentes participantes (gemelos) con el objetivo de manipular el proceso de modelado del gemelo y obtener información sobre la privacidad de los gemelos. Ataques de envenenamiento de datos en los procesos de modelado de datos como en los procesos de interacción entre los gemelos. Durante la ingesta de los datos los atacantes pueden llenar la memoria caché mediante la inyección de contenido falso o inútil. Una entidad maliciosa puede manipular el caché local de las entidades físicas o elementos perimetrales durante la ingesta con el objetivo a determinar qué contenido almacenar en caché.

Autenticación y control de acceso.

Potenciales amenazas relacionadas suplantación de identidad. Explotación de fallas del sistema en la fase de autenticación haciéndose pasar por otra identidad para la extracción de información crítica del Gemelo Digital. Ataques de suplantación de identidad para la recopilación de información sensible en tiempo real.

Detección de intrusos y conocimiento de la situación.

Ataques durante las interacciones entre el Gemelo Digital y su parte física, dónde los atacantes se sitúan entre ambas partes para alterar la comunicación y hacer creer que la comunicación es correcta. Amenazas de explotación para manipular un Gemelo Digital con el objetivo de manipular múltiples entidades en topologías descentralizadas.

Privacidad.

Potenciales ataques que aprovechan privilegios sobre el Gemelo Digital y sus recursos para extraer información crítica para la seguridad (por ejemplo, credenciales). Con el uso de esta información los atacantes pueden acceder ilegalmente a los Gemelos Digitales, robar la información almacenada e incluso realizar ciberespionaje. Además de acceso a información sensible, facilita posibles ataques, así como manipulaciones sobre los servicios en torno al Gemelo Digital.

Confianza.

Amenazas sobre Gemelos Digitales que comparten información falsificada para engañar a través de los servicios conectados al mismo. Gemelos Digitales que pueden no resultar de confianza debido a no disponer de suficiente información previa en sus interacciones. Este tipo de situaciones pueden causar problemas para el intercambio de datos.

Defensa Integrada.

Ataques donde el Gemelo Digital se ve comprometido debido a ataques sobre la entidad física conectada y amenazas para dañar el sistema. Ataques sobre las entidades físicas causando destrucción de dispositivos / infraestructura afectando a la operación normal de los servicios asociados al Gemelo Digital en el ciber espacio.

7. PLANIFICACIÓN Y FASES ASOCIADAS

Fase 1: de Investigación y Análisis

- **1.1. Identificación de necesidades:** Determinar las áreas clave de la ciudad que se beneficiarían el uso del gemelo digital.
- **1.2. Estudio de infraestructura existente:** Evaluar los sistemas y bases de datos actuales del ayuntamiento y cómo se pueden integrar en el gemelo digital.

Fase 2: Diseño

- **2.1. Diseño de la arquitectura de la plataforma:** Crear un diseño técnico de la plataforma cloud y cómo se integrarán los datos en tiempo real.
- **2.2. Diseño de la ontología digital:**
 - **2.2.1. Definición de términos y relaciones:** Establecer un vocabulario común que represente los conceptos y relaciones clave en el dominio de la ciudad.
 - **2.2.2. Alineación con ontologías existentes:** Investigar y alinear con estándares y ontologías ya existentes, para garantizar la interoperabilidad.
- **2.3. Desarrollo del modelo o esquema común de datos:**
 - **2.5.1. Identificación de fuentes de datos clave:** Establecer qué datos se necesitan y de dónde provendrán.
 - **2.5.2. Definición de estructuras y formatos:** Decidir cómo se organizarán, almacenarán y accederán a estos datos.

- **2.5.3. Establecimiento de estándares:** Asegurar que todos los datos se ajusten a un formato y estructura comunes para facilitar la integración y el análisis.
- **2.4. Diseño de interoperabilidad:** Definir un modelo que permita la reutilización interna y externa de datos.

Fase 3: Implementación

- **3.1. Creación de casos de uso ágiles sobre el espacio demostrador:** Desarrollar los primeros prototipos en modo “quick win” basados en los casos de uso seleccionados.
- **3.2. Entregas Iterativas:** Lanzar demos incrementales de casos de uso acotados a medida que se avanza, permitiendo retroalimentación temprana y ajustes.
- **3.3. Desarrollo de la plataforma:** Crear la plataforma tecnológica basada en la nube.
- **3.4. Integración de sistemas:** Integrar bases de datos corporativas y de terceros.
- **3.5 Ajustes Basados en Entregas:** Con base en la retroalimentación y los resultados de las entregas iterativas, hacer ajustes y mejoras en las soluciones propuesta
- **3.6. Pruebas y validación:** Asegurar que el sistema funciona correctamente y satisface las necesidades del ayuntamiento.

Fase 4: Gobernanza y Gestión

- **4.1. Desarrollo del modelo de gobernanza:** Establecer un marco que permita la integración fluida de diferentes soluciones tecnológicas.
- **4.2. Coordinación interdepartamental:** Garantizar una comunicación y colaboración efectiva entre las diferentes áreas del ayuntamiento.

Fase 5: Formación y Capacitación

- **5.1. Entrenamiento del personal:** Asegurar que los empleados del ayuntamiento comprendan y puedan utilizar eficazmente el gemelo digital.
- **5.2. Talleres para stakeholders:** Formación a partes interesadas.

Fase 6: Mantenimiento y Actualización

- **6.1. Monitorización continua:** Asegurarse de que el sistema se mantiene operativo y actualizado.
- **6.2. Incorporación de nuevas tecnologías:** A medida que surjan nuevas soluciones y tecnologías, considerar su integración en el gemelo digital.

Fase 7: Evaluación y Retroalimentación

- **7.1. Evaluación del impacto:** Medir el impacto del gemelo digital en la toma de decisiones y en la mejora de servicios.
- **7.2. Recopilación de feedback:** Obtener retroalimentación de los usuarios y stakeholders para futuras mejoras.

8. HITOS

La puesta en marcha de la estrategia se articula sobre el cumplimiento de un conjunto de elementos de referencia que garantizan el correcto desarrollo del proyecto. Los hitos clave del desarrollo de la estrategia son:

- **Creación de Espacio Virtual DEMOSTRADOR** de gemelo digital para casos de uso.
- Definición de hoja de ruta.
- **Arquitectura de referencia** de Gemelo Digital.
- **Catálogo de componentes comunes** de gemelo digital.
- **Creación de casos ágiles** sobre el espacio demostrador.
- **Lanzamiento de pliego**.
- **Diseño semántico del modelo de gemelo digital**.
- **Desarrollo del modelo común de datos**.
- **Desarrollo e implementación de la plataforma** de gemelo digital.
- **Fase I en producción**.