

PROYECTO DE GRADO

Presentado ante la ilustre UNIVERSIDAD DE LOS ANDES como requisito parcial para
obtener el Título de INGENIERO DE SISTEMAS

PROPUESTA DE GEMELO DIGITAL PARA EL PROCESO DE
POTABILIZACIÓN EN HIDROLÓGICAS DESDE LA VISIÓN
DE LA INDUSTRIA 4.0

Por

Br. Ysis Lacruz

Tutor: PhD. Juan Cardillo

Cotutor: PhD. Edgar Chacón

Agosto 2019



Propuesta de Gemelo Digital para el Proceso de Potabilización en Hidrológicas desde la visión de la Industria 4.0

Br. Ysis Lacruz

Proyecto de Grado — Control y Automatización, 18 páginas

Resumen: Se propone el diseño de un gemelo digital para la unidad de potabilización de una planta hidrológica, en pro de cambiar el enfoque hacia la Industria 4.0. Se estudiará el modelo de negocio que rige a las hidrológicas y se realizarán los modelos del proceso para su sistematización basada en condición, así como el modelo del flujo de producto y de los recursos. Se construye el modelo de operación basado en los modelos anteriores. Se utilizarán Sistemas Híbridos para describir el comportamiento del proceso de potabilización. Los análisis y pruebas se realizarán en un ambiente de simulación.

Palabras clave: Gemelo digital, Industria 4.0, Automatización, Sistemas Híbridos, Hidrológica.

Índice

Índice de Tablas	v
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Metodología	5
2 Marco Teórico	7
2.1 Ciudades Inteligentes	7
2.2 Industria 4.0	9
2.2.1 Sistemas Ciber-Físicos	10
2.2.2 Internet de las Cosas (IoT) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT)	11
2.2.3 Analítica de Datos	11
2.3 I4.0: Gemelo Digital	12
2.4 Modelo de Conocimiento	12
2.5 Modelo Formal Híbrido	12
2.6 Sistemas Holónicos	12
2.7 Sistemas de suministro de agua potable, hacia la I4.0	12
3 Desarrollo	15
3.1 Planteamiento del proceso como modelos UHP	15

3.2	Propuesta	15
3.3	Caso de Estudio	15
4	Implementación	16
4.1	Epanet y MATLAB	16
4.2	Simulación	16
5	Conclusiones y Recomendaciones	17
	Bibliografía	18

Índice de Tablas

Capítulo 1

Introducción

Los procesos industriales tienen un papel fundamental en el desarrollo de las comunidades, de ellos dependen un sinnúmero de bienes y artículos que benefician el día a día; es por ello que la evolución en este campo es constante, la industria debe ajustarse a las exigencias que la sociedad dictamina.

La evolución tecnológica, a pasos agigantados, ha permitido la automatización de algunas industrias: desde el triángulo de automatización en la década de los 80, la manufactura integrada por computador y los SCADA para control supervisorio. Sin embargo, en pro del aprovechamiento de recursos y mejoras en los procesos industriales, se busca implantar un nuevo enfoque de integración basado en la Industria 4.0.

Este enfoque plantea la aplicación de la teoría del Internet de las Cosas (IoT), a los procesos industriales, de forma que las unidades de producción, supervisión y gerencia mantengan una interconexión y un actuar inteligente, permitiendo la adaptación de la empresa ante cambios constantes en la demanda.

Uno de los conceptos que se manejan con este nuevo enfoque es el de Gemelo Digital, que incluye no solo la representación digital de un sistema en el mundo real, su diferencia fundamental con respecto a las descripciones actuales es que este maneja el modelo de proceso clásico, y añade el modelo del flujo de producto y de los recursos, permitiendo utilizar mecanismos como Analítica y Big Data para establecer elementos de ayuda a la toma de decisiones.

El enfoque de la Industria 4.0 ofrece nuevos métodos para encarar los procesos

complejos de sistemas críticos [cita], aquellos sistemas clave en el desarrollo humano e industrial como son la electricidad, el agua, la salud, el transporte, y demás sistemas de sistemas que mantienen interrelación entre sí.

El agua, siendo un recurso limitado, es un eslabón necesario en todos los ámbitos y el funcionamiento eficiente de la industria hidrológica es uno de los retos a asumir para dar forma a ciudades inteligentes. El hecho de proponer un Gemelo Digital en el proceso de potabilización en la industria hidrológica, se debe a que este proceso debe hacer uso de sistemas híbridos para su concepción. La interrelación del proceso es necesaria para evitar mayores pérdidas de flujo y recursos.

1.1 Antecedentes

Siguiendo la tendencia mundial, en la que se proyecta a la industria en una nueva etapa de crecimiento e innovación, existen muchas tecnologías emergentes que comienzan a impulsar y sustentar este fenómeno conocido como industria 4.0. Esta se asume como la cuarta revolución industrial, que nace como la evolución natural de la tercera revolución industrial centrada en el uso de dispositivos electrónicos y computacionales. Así I4.0 se convierte en el esquema industrial centrado en la interconectividad de sistemas ciber-físicos.

Los acontecimientos más destacados en la historia de la industria podemos ubicarlos en los tres grandes hitos que hicieron posible, entre otras cosas, el crecimiento económico y el desarrollo tecnológico a nivel mundial. Estos tres grandes hitos se conocen como las revoluciones industriales, donde la primera revolución contempla la creación e implementación de la máquina de vapor en los centros de manufactura así como la mecanización en los puestos de trabajo permitiendo la elaboración de productos personalizados, posteriormente, la segunda revolución, es la incorporación del suministro de electricidad a las fábricas, implementación de nuevos paradigmas en la producción como lo es la división del trabajo, que permitieron elaborar productos de bajo costo. La tercera revolución industrial se basa en la puesta en marcha de las microcomputadoras, los PLC (Programmable Logic Controller por sus siglas en inglés) y los robots autónomos en las líneas de producción de las fábricas, haciendo posible la

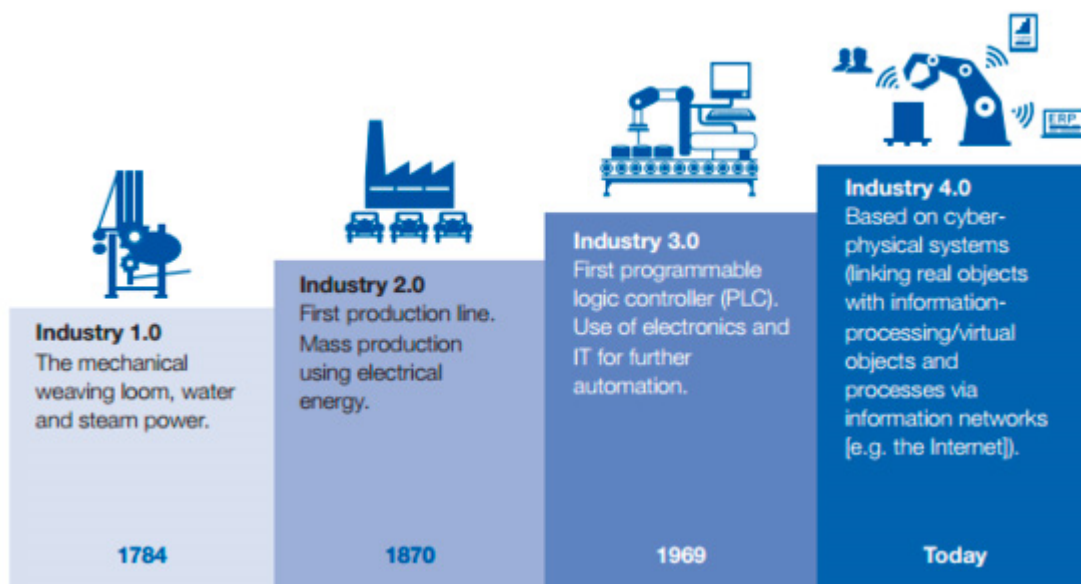


Figura 1.1: Evolución de la Industria.

variedad de los productos y la masificación de la producción. La cuarta revolución industrial o también llamada industria 4.0, corresponde a una nueva manera de organizar los medios de producción, donde el objetivo es la puesta en marcha de fábricas capaces de una mayor adaptabilidad a las necesidades y a los procesos de producción, así como a una asignación más eficiente de los recursos usando la interconectividad. Esta nueva visión de la industria contempla una manufactura completamente equipada con sensores, actuadores y sistemas de comunicación, en donde mediante modelos holísticos de proceso, producto y recursos (gemelo digital), aunado a la aplicación de estrategias de computación, logren el despliegue de un control autónomo dentro de estas fábricas. Las características principales de cada evolución industrial se observan en la figura 2.1.

La I4.0 corresponde a un concepto genérico de los Sistemas Ciber Físicos (SCF) aplicado a los Sistemas de Producción Industrial. Considerando a los SCF como la autonomía requerida por los Sistemas Físicos para operar, negociar e interactuar usando la conectividad y la identificación única de los recursos para interoperar, dando origen al internet industrial de las cosas (IIoT), cuya premisa es poder tener una representación de la Información de Ingeniería (conocimiento del proceso) comprensible en las máquinas (manufactura inteligente). Para poder implementar la visión antes

descrita se requiere poder plasmar en el computador los modelos de conocimiento tanto del proceso, recursos, como de flujo de producto. Una de las grandes diferencias entre los esquemas de control y supervisión de I3.0 era poder interrogar al proceso de producción sobre su condición, esto es conocer condición de proceso y de producto; en I4.0 en vez de interrogar al proceso, se define un gemelo de comportamiento del proceso de producción en un sistema digital llamado Gemelo Digital, en donde no solo incorpora la condición del proceso y de del flujo de producto sino también de la condición de los recursos involucrados.

En una empresa hidrológica, la cadena de valor asociada a producción esta genéricamente representada por 6 eslabones a saber: Fuente, Captación, Potabilización, Distribución, Recuperación, y Retorno, pudiéndose incluir un eslabón de transporte entre cada uno de los mencionados. Para el eslabón de Distribución las empresas hidrológicas tienen rigurosos estudios sobre redes que incluyendo aplicaciones (WaterCAD, EPANET, etc) que permiten mostrar el comportamiento de flujo en la red, pero en los eslabones anteriores los modelos de comportamiento son continuos, por lo que generar un gemelo digital es más complicado y aunque necesario, es menos desarrollado en las industrias.

1.2 Planteamiento del problema

Dada la importancia del proceso de potabilización como el generador del flujo a distribuir, se propone desarrollar los modelos de comportamiento del proceso de potabilización, que incluye el modelo de proceso, el modelo de flujo de producto y el modelo de los recursos, con el fin de determinar el modelo operacional (secuencia de operaciones) para establecer el gemelo digital de la unidad de potabilización. Para cada uno de los modelos mencionados se requiere definir: Condición normal de operación, condición degradada y condición de falla en cada una de las etapas: arranque, operación, parada y limpieza.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Generar un gemelo digital de la unidad de potabilización de una hidrológica desde la visión de la industria 4.0, basado en Sistemas Híbridos.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los modelos de comportamiento de la unidad de potabilización (Modelo de comportamiento del proceso, flujo del producto y recursos).
- Establecer las condiciones de conmutación de los modelos obtenidos desde el punto de vista de sistemas a eventos discretos.
- Generar el modelo de comportamiento desde el punto de vista de los sistemas híbridos.
- Implementar el modelo de comportamiento de la unidad de potabilización en un ambiente de simulación.
- Establecer condiciones para generar el gemelo digital e incorporarlas al ambiente de simulación.

1.4 Metodología

A fin de lograr el cumplimiento de los objetivos planteados, se presenta el procedimiento a seguir:

- Se realizará la revisión bibliográfica pertinente, con base en el estudio del proceso de potabilización y en la evolución que ofrece la industria 4.0 como enfoque en la integración de procesos.
- Se estudiará el modelo de negocios que rige a la industria hidrológica.
- Se determinarán los modelos del proceso, para realizar la sistematización del mismo basada en condición.

-
- El proceso será definido como una unidad holónica de producción, en base al enfoque de la Industria 4.0.
 - Para el desarrollo de las simulaciones en el computador, se utilizarán redes de Petri, debido a la imposibilidad de implantarlo en el proceso real.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1 Ciudades Inteligentes

Se pueden encontrar numerosas definiciones para el termino de Ciudad Inteligente, Vito et all [94] se encargó de recopilar y analizar concepciones desde distintos puntos de vista, los cuales convergen en el concepto de una ciudad que visualiza el desarrollo sustentable social y tecnológico, empleando tecnologías de información y comunicación para permitir la interrelación en los sistemas que la conforman, tanto de infraestructura como servicios. Una parte clave de las ciudades inteligentes es el continuo aprendizaje y manejo de conocimientos, generando desarrollo tecnológico que pueda implementarse en procedimientos de innovación.

Si bien la tecnología es una herramienta clave, una ciudad digitalizada no necesariamente es inteligente; la noción de ciudad inteligente es la fusión entre infraestructura tecnológica y sociedad de conocimiento (??), permitiendo el intercambio de información entre máquinas y hombres, entre industrias y entes públicos, todo en pro de un desarrollo sustentable de la comunidad y eficiencia al buscar soluciones de problemas cotidianos. [94] Es aquí donde se aprecia uno de los conceptos que dan vida a las ciudades inteligentes, el Internet de las Cosas, el cual permite la virtualización y conexión de dispositivos para el intercambio de datos. [70]

Una ciudad inteligente requiere además una industria que evolucione en eficiencia, de manera que pueda responder a las exigencias y necesidades de los consumidores.

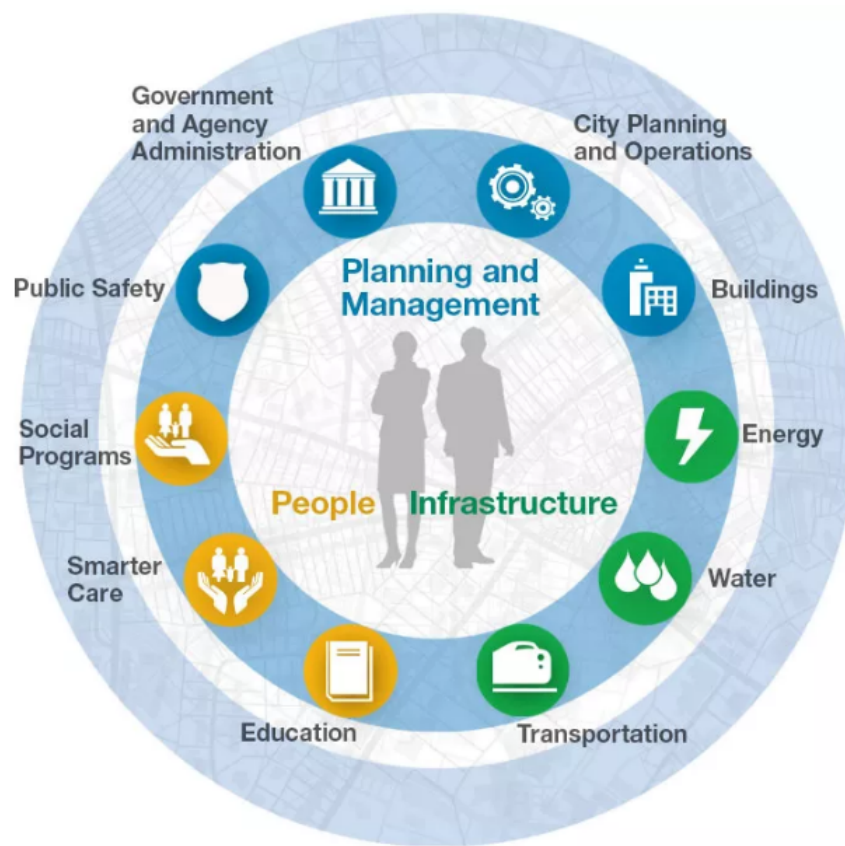


Figura 2.1: Ciudades Inteligentes. [96]

Uno de los nuevos conceptos trata de incluir el Internet de las Cosas, junto a demás nociones para el manejo y análisis de datos, en el ámbito industrial, dando paso al término de Industria 4.0.

2.2 Industria 4.0

En adelante referida como I4.0, se trata de un proceso necesario de transformación digital en la industria, ocasionado por el avance vertiginoso en el ámbito tecnológico y los cambios que esto generó en la sociedad. La I4.0 busca aplicar las tecnologías de información para modificar la metodología de organización de la cadena de valor y gestión. Se basa en el uso de Sistemas Ciber-Físicos para monitorear los procesos, virtualizarlos, y hacer uso del Internet de las Cosas para generar comunicación y cooperación hombre-máquina y máquina-máquina en tiempo real. [12][97]

Para que las organizaciones puedan identificar e implementar escenarios que permitan adaptarse a la tecnología de I4.0, se presentan algunos principios de diseño: [97]

- **Interoperabilidad:** Es la habilidad para conectar y habilitar una comunicación entre máquinas y personas, haciendo uso del Internet de las Cosas.
- **Virtualización:** Se refiere a un vínculo entre los sistemas físicos instalados y modelos virtuales de la planta, permitiendo monitoreo y simulación del proceso.
- **Descentralización:** Es la capacidad de los sistemas físicos de tomar decisiones por sí mismos, siguiendo un modelo de comportamiento. Solo en caso de fallo las decisiones pasarían a un nivel superior, disminuyendo así la carga de un control central, sin descuidar el monitoreo de la cadena de producción.
- **Capacidad en Tiempo Real:** Recopilación de datos al instante, ya sea para almacenarlos o analizarlos y tomar decisiones de acuerdo a lo obtenido. La obtención del estado de la planta en tiempo real permite reaccionar ante fallos en el proceso.

- **Orientación al Servicio:** La producción debe estar orientada al cliente, en ese sentido, la empresa puede brindar servicios interna o externamente para mantener una interacción con el cliente final.
- **Modularidad:** Capacidad de adaptarse en un mercado cambiante, busca industrias reconfigurables. Con sistemas modulares se hace fácil el ajuste en caso de fluctuaciones en las solicitudes del mercado, mediante adición, ampliación o sustitución de módulos individuales.

Los principales componentes de la I4.0 se describen a continuación:

2.2.1 Sistemas Ciber-Físicos

Los Sistemas Ciber-Físicos (en adelante CPS, por sus siglas en inglés) son sistemas que integran componentes físicos con componentes computacionales, guardando relación con un proceso en curso. Estos sistemas están dedicados a realizar funciones específicas en tiempo real, siendo capaces de recibir y tratar información, monitorear y actuar sobre elementos físicos del proceso asociado. [63]

La interrelación entre sistemas físicos y computacionales contribuye a la formación de ciudades inteligentes; beneficios como eficiencia en la transmisión de información, sistemas reconfigurables, eficiencia operativa, optimización, y demás aportes que se obtienen al implementar el concepto de CPS en los procesos existentes. [61]

En Laszlo Monostori et al [66] se hace referencia a un gráfico del modelo de madurez de un CPS (véase figura 2.2), donde en un primer nivel se generan las condiciones para la implementación y conexiones físicas, mientras que los niveles superiores representan la evolución en el procesamiento de la información y procesos de cooperación.

Los CPS hacen uso del Internet de las Cosas, red de sensores, almacenamiento de información, entre otras propiedades, para mantener una comunicación máquina-máquina y hombre-máquina eficiente, de manera que el proceso de producción se logre de forma eficiente.

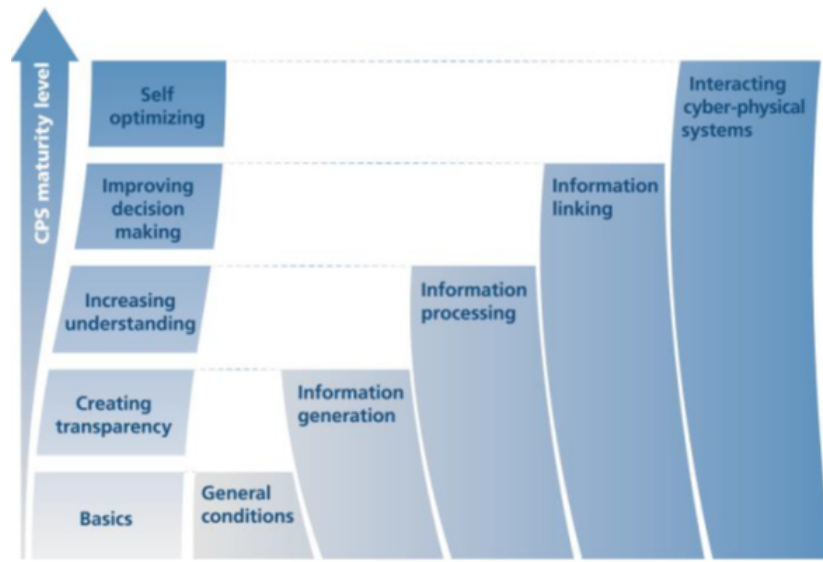


Figura 2.2: Modelo de madurez de un CPS.

2.2.2 Internet de las Cosas (IoT) e Internet Industrial de las Cosas (IIoT)

Son tecnologías emergentes, un conjunto de dispositivos interconectados que permiten la recopilación y acceso a datos compartidos, monitoreo y comunicación en tiempo real, con plataformas amigables para el usuario. [65]

Al aplicar el concepto en el entorno industrial, se pueden obtener datos acerca del estado del proceso o el producto, dispositivos inteligentes y autónomos que optimizan el proceso de producción, lo que incluye la eficiencia en entrega del servicio, mayor productividad, reducción de costos y recopilación de datos de interés. [67]

La adopción del IIoT permite la aplicación de la tecnología a nivel de planta [Wallace Riddick], dando paso a lo que se denomina Smart Factory; siendo ésta una convergencia del proceso industrial de manufactura con tecnologías de información para mejorar y acelerar el proceso de producción. [68].

2.2.3 Analítica de Datos

Es una técnica que consiste en extraer datos de distintas fuentes y analizarlos para obtener información útil, necesaria para tomar mejores decisiones corporativas

y plantear estrategias. El análisis de datos emplea grandes cantidades de información, descrita como Big Data, inmensos paquetes que requieren de software especial para su almacenamiento y tratamiento.[69]

2.3 I4.0: Gemelo Digital

Planteamiento de Gemelo Digital en manufactura Cómo construir un GD

2.4 Modelo de Conocimiento

2.5 Modelo Formal Híbrido

2.6 Sistemas Holónicos

Holón Visión del proyecto

2.7 Sistemas de suministro de agua potable, hacia la I4.0

Los Sistemas de Suministro de Agua Potable, WSS por sus siglas en inglés, son sistemas encargados de proveer agua potable en una comunidad mediante amplias redes de distribución.[70] Según el Foro Económico Mundial, la crisis alrededor del agua se sitúa dentro de los diez principales riesgos sociales en el mundo, siendo todo un reto para la industria hidrológica el cumplir sus objetivos de forma eficiente, manteniendo una buena coordinación entre los eslabones que conforman el proceso y asegurando un mínimo de pérdidas del recurso. Aun con la prioridad de mantener un buen funcionamiento, el Banco Mundial calcula que la producción de agua pierde entre un 25% y 30% de flujo en fallas. [87]

Los WSS hacen parte de la clasificación de sistemas críticos debido a la importancia que gira en torno a la industria hidrológica, un proceso clave para el bienestar común

y la persistencia de otros sistemas, considerando también que dependen de un recurso limitado y vulnerable como lo es el agua. [70]

Los sistemas críticos mantienen una interdependencia entre ellos (electricidad, agua, salud, entre otros), son sistemas vitales para el buen funcionamiento de la sociedad y demás procesos tecnológicos. La falta de un sistema crítico tendría un impacto directo en el bienestar de la población, así como en la seguridad y defensa de los gobiernos. [64] En el mapa publicado por el Foro Económico Mundial (véase figura 2.3) se permite explorar los problemas interconectados en torno al agua, donde el enfoque de la I4.0 y sus componentes, pueden ofrecer soluciones basadas en un seguimiento del proceso, junto a recolección y análisis de datos que aporten a la toma de decisiones. [70]

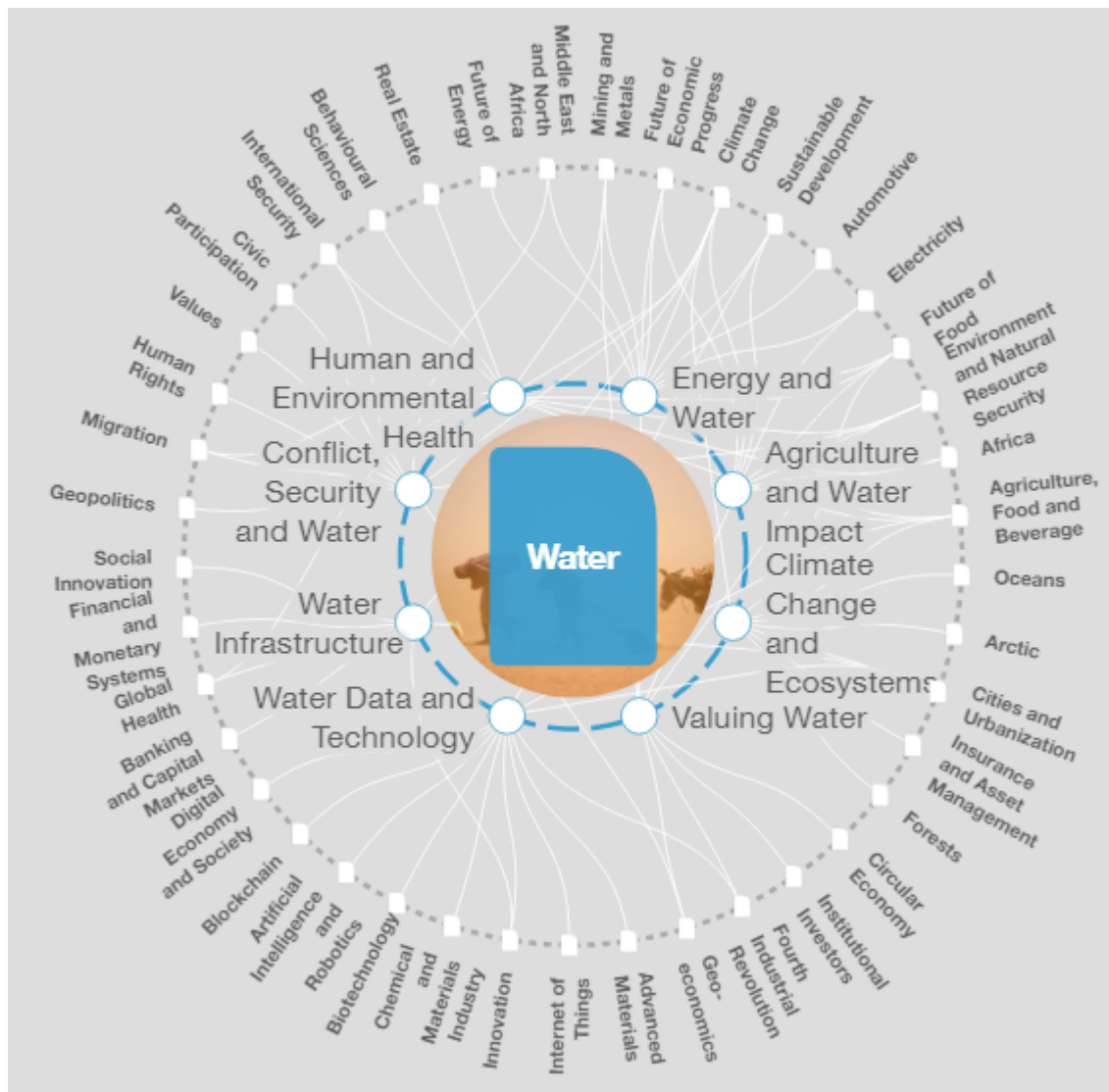


Figura 2.3: Mapa general de problemas y soluciones interconectados en torno al agua.

Capítulo 3

Desarrollo

3.1 Planteamiento del proceso como modelos UHP

Cómo simular el comportamiento UPH

3.2 Propuesta

3.3 Caso de Estudio

Capítulo 4

Implementación

4.1 Epanet y MATLAB

¿Cómo realizar la simulación híbrida?

4.2 Simulación

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

Bibliografía

Daneels, A. and Salter, W. (1999). What is scada? *Inductive Automation*.

del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. *Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto (CDDII)*.

Fúquene Retamoso, C. E., Aguirre Mayorga, S., and Córdoba Pinzón, N. B. (2007). Evolución de un sistema de manufactura flexible (fms) a un sistema de manufactura integrada por computador (cim). *Ingeniería y universidad*, 11(1).

Klaus-Dieter Thoben, Stefan Wiesner, T. W. (2017). Industrie 4.0, and smart manufacturing a review of research issues and application examples. *Int. J. Autom. Technol*, (11).

Morales-Rodríguez, N. (2018). Uso de nuevas tecnologías para la competitividad del país. *Investiga. TEC*, (33):3.

national academy of Science Engineering Medicine, T. (2016). A 21st century cyber-physical systems education. *International Standard Book*, (13).

Olivier Cardin, William Derigent, D. T. (2018). Evolution of holonic control architectures towards industry 4.0, a short overview. *IFAC PapersOnLine*, (1243).

Pérez, F. A. F. and Guerra, J. L. G. (2017). Internet de las cosas. *Perspectiv@s*, 10(11):45–49.