

**DECANATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
FORMATO DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO**

Fecha de entrega: 01 de marzo del 2022

Estudiantes: Erika Alejandra Suárez Riveros y Álvaro Andrés Mejía Mantilla

Director: Jose Fernando Jiménez

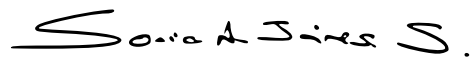
Codirector: Sonia Jaimes Suárez

El presente documento avala la entrega del trabajo de grado por parte del director y codirector.

Documentos anexos: copia digital del Trabajo de Grado.



Ing. PhD. José Fernando Jiménez
Gordillo
Director



Ing. Msc. Sonia Jaimes Suárez
Co-Directora



Ing. Erika Alejandra Suárez Riveros
Estudiante



Ing. Álvaro Andrés Mejía Mantilla
Estudiante

**Evaluación de modelo cognitivo de toma de decisiones
de un supervisor humano, en la coordinación de la
distribución logística urbana**

**Erika Alejandra Suárez Riveros
Álvaro Andrés Mejía Mantilla**

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2021**

**Evaluación de modelo cognitivo de toma de decisiones
de un supervisor humano, en la coordinación de la
distribución logística urbana**

**Erika Alejandra Suárez Riveros
Álvaro Andrés Mejía Mantilla**

Trabajo de grado para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial

Director
José Fernando Jiménez Gordillo
Doctor en Automatización e Ingeniería de sistemas

Codirectora
Sonia Jaimes Suárez
Magíster en Ingeniería Industrial con énfasis en Optimización y Logística

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2021**

© Únicamente se puede usar el contenido de las publicaciones para propósitos de información. No se debe copiar, enviar, recortar, transmitir o redistribuir este material para propósitos comerciales sin la autorización de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Cuando se use el material de la Escuela se debe incluir la siguiente nota "Derechos reservados a Escuela Colombiana de Ingeniería" en cualquier copia en un lugar visible. Y el material no se debe notificar sin el permiso de la Escuela.

Publicado en 2021 por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Avenida 13 No 205-59 Bogotá. Colombia
TEL: +57 – 1 668 36 00

Reconocimiento o Agradecimientos

Erika Alejandra Suárez Riveros

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por apoyar mi formación profesional y personal; por permitirme ser parte de la institución como estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial y como Monitora graduada de investigación, punto importante que me permitió completar con éxito mis estudios y crecer profesionalmente.

A nuestros tutores, el Ing. PhD. José Fernando Jiménez y la Ing. MSc. Sonia Jaimes Suárez, por confiar en mis capacidades; por su guía, aportes y entrega con el desarrollo de esta investigación; por su disponibilidad, apoyo y paciencia durante todo el proceso.

A la Ing. MSc. Sonia Jaimes por su gran apoyo desde la dirección del programa en el ámbito académico, pero especialmente, por incentivar mi crecimiento como persona y profesional, por su confianza durante estos años que compartimos.

A mis padres por siempre estar presentes y motivarme a crecer académicamente, sin dejar de lado mi crecimiento como persona integra en la vida profesional; por mostrarme el valor del trabajo duro y el amor. A mis hermanos por darme su alegría y el cariño, por su compañía y ser parte de mi motivación diaria.

A mis amigos que hicieron parte del proceso, por su interés en el desarrollo general del trabajo, avances y dificultades; por sus ánimos, gestos y palabras para seguir adelante.

Álvaro Andrés Mejía Mantilla

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por ser parte importante en mi crecimiento y formación profesional. A sus docentes quienes, de manera paciente, dedicada y muy profesional, me permitieron incorporar nuevos conocimientos para mi vida personal y profesional.

A nuestros tutores, el Ing. PhD. José Fernando Jiménez y la Ing. MSc. Sonia Jaimes Suárez, quienes de manera permanente nos han aportado su tiempo, conocimiento y experiencia para poder adelantar nuestro proceso investigativo.

A mis padres, quienes me han apoyado incondicionalmente en los propósitos que he emprendido, siendo éste uno de los más importantes de mi vida. A mi esposa y mis hijos, quienes me han permitido dedicar tiempo para culminar este gran objetivo de vida, muchas gracias.

A mis compañeros de trabajo, a la empresa Equion Energía Limited, quienes me brindaron el tiempo para poder mejorar mis competencias y tener conocimientos adicionales, que me beneficiaran no sólo a mí, sino también a la empresa, muchas gracias.

Resumen

Los avances tecnológicos, la digitalización y el surgimiento de la Industria 4.0 han transformado la forma de concebir los negocios y las economías a nivel mundial. Como aporte en esta transformación, los CPS (tecnología habilitadora de la Industria 4.0) han jugado un rol importante al permitir la integración, dentro de una industria, de elementos como la informática, las comunicaciones y los procesos físicos, con el fin de mejorar su eficiencia y flexibilidad en todos sus procesos. Sin embargo, para potencializar e incrementar esta flexibilidad, se ha pensado en la interacción simbiótica del humano, con los CPS, por su capacidad para supervisar, reconfigurar, ser una fuente de conocimiento y experiencia, diagnosticar situaciones y tomar decisiones, de tal forma que se logre alcanzar los objetivos propuestos por las organizaciones. No obstante, el humano puede imprimir ciertas restricciones a los sistemas, al ser propenso a errores, variaciones, fatiga y juicios erróneos, los cuales deben ser tenidos en cuenta de tal forma que su aporte en los CPS sea el esperado.

Para que el proceso mental de toma de decisiones por parte del humano se desarrolle de manera eficiente, se han planteado modelos mentales desarrollados por autores en Sistemas Ciberfísicos, como el caso del modelo desarrollado por Inoue en 2012, sobre el cual se desarrolló esta investigación, la cual propone una adaptación de un modelo cognitivo de toma de decisiones de un CPAS, a un modelo cognitivo para un supervisor humano, en la coordinación de la distribución logística urbana en un CPLS, con el fin de generar respuestas óptimas.

Abstract

Technological advances, digitization and the emergence of Industry 4.0 have transformed the way we think about businesses and economies globally. As a contribution to this transformation, CPS (enabling technology for Industry 4.0) have played an important role by allowing the integration, within an industry, of elements such as information technology, communications, and physical processes, to improve its efficiency and flexibility in all your processes. However, to potentiate and increase this flexibility, the symbiotic interaction of the human has been considered, with the CPS, due to their ability to supervise, reconfigure, be a source of knowledge and experience, diagnose situations and make decisions, in such a way that the objectives proposed by the organizations are achieved. However, the human can impose certain restrictions on the systems, being prone to errors, variations, fatigue, and erroneous judgments, which must be considered in such a way that his contribution in the CPS is as expected.

In order for the mental process of decision-making by humans to develop efficiently, mental models developed by authors in Cyber-physical Systems have been proposed, such as the case of the model developed by Inoue in 2012 on which this research was developed, the which proposes an adaptation of a cognitive model of decision making of a CPAS, to a cognitive model for a human supervisor, in the coordination of urban logistics distribution in a CPLS, in order to generate optimal responses.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	9
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	12
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	12
1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES	13
1.4 FASES DE DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	13
CAPÍTULO 2. REQUERIMIENTOS DE LA ARQUITECTURA H-CPLS.....	15
2.1 INTRODUCCIÓN.....	15
2.2. METODOLOGÍA.....	15
2.2 INDUSTRIA 4.0.....	16
2.3 SISTEMAS CIBERFÍSICOS CON INTERACCIÓN HUMANA	17
2.4 APORTES DESDE LA EXPERIENCIA.....	18
2.4.1 <i>Cadena de abastecimiento</i>	18
2.4.2 <i>Logística de distribución</i>	19
2.5 RESUMEN.....	20
CAPÍTULO 3. MODELO COGNITIVO DE UN SUPERVISOR HUMANO EN LA COORDINACIÓN DE DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA URBANA	21
3.1 INTRODUCCIÓN.....	21
3.2 METODOLOGÍA.....	21
3.2.1 <i>Enfoque Metodológico</i>	21
3.2.2 <i>Diseño metodológico</i>	21
3.2.3 <i>Los participantes</i>	22
3.2.4 <i>Protocolo para el desarrollo del experimento</i>	22
3.2.5 <i>Instrumento – El juego de la cerveza</i>	23
3.2.6 <i>Ética en la investigación</i>	24
3.2.7 <i>Procesamiento de la información</i>	25
3.3 TOMA DE DECISIONES.....	30
3.4 MODELO COGNITIVO INOUE	30
3.5 EL JUEGO DE LA CERVEZA	32
3.5.1 <i>Análisis de la información cualitativa orientada a la construcción del modelo cognitivo</i>	32
3.6 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO COGNITIVO.....	35
3.6.1 <i>Modelo cognitivo del Distribuidor</i>	36
3.6.2 <i>Modelo cognitivo del Mayorista</i>	38
3.6.3 <i>Modelo cognitivo del Minorista</i>	39
3.7 RESUMEN.....	41
CAPÍTULO 4. PLATAFORMA DE SIMULACIÓN DE DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA URBANA BASADA EN LA ARQUITECTURA CPLS	42

4.1	INTRODUCCIÓN	42
4.2	METODOLOGÍA	42
4.2.1	<i>Desarrollo de la aplicación</i>	46
4.2.2	<i>Descripción de la Aplicación</i>	48
4.2.3	<i>Funcionamiento de la plataforma</i>	49
CAPÍTULO 5. VALIDACIÓN DE MODELO COGNITIVO EN LA PLATAFORMA DE		
DISTRIBUCIÓN LOGÍSTICA URBANA		55
5.1	INTRODUCCIÓN	55
5.2	METODOLOGÍA	55
5.3	MODELO COGNITIVO EN LA PLATAFORMA H-CPLS	55
CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN		60
TRABAJOS FUTUROS		62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		63

Lista de Figuras

Figura 1. Sistema de interacción Humano CiberFísico H-CPS.....	10
Figura 2. Aplicaciones de los Sistemas CiberFísicos.	11
Figura 3 Fases de la investigación.....	13
Figura 4. Niveles de maduración de los sistemas H-CPS.....	17
Figura 5. Diseño metodológico para el experimento con “el juego de la cerveza”	22
Figura 7. Imagen que muestra el momento inicial de la actividad de simulación en la que el equipo investigador da las instrucciones.....	24
Figura 8. Proceso seguido en la organización y procesamiento de la información.....	26
Figura 9. Pantallazo de la codificación hecha en la presente investigación con MaxQDA.....	29
Figura 10. Modelo cognitivo de controladores de tráfico aéreo.....	31
Figura 11. Clasificación de las categorías en MAXQDA - Distribuidor en la semana 6. 32	
Figura 12. Clasificación de las categorías en MAXQDA - Distribuidor en la semana 10. 33	
Figura 13. Uso de las categorías por cada participante del experimento en MAXQDA.....	34
Figura 14. Conexiones entre categorías según MAXQDA.	35
Figura 15. Modelo cognitivo modificado.....	36
Figura 16. Evolución modelo cognitivo del Distribuidor.....	37
Figura 17. Evolución modelo cognitivo del Mayorista	38
Figura 18. Evolución modelo cognitivo del Minorista.....	40
Figura 19. Ciclo de la metodología Adaptive Software de Development.	42
Figura 20. Ilustración general de la arquitectura de control.....	43
Figura 21. Diagrama de actividades	44
Figura 22. Diagrama operativo de la distribución logística.....	45
Figura 23. Sistema operativo de un día.	45
Figura 24. Diagrama de Clases de la plataforma H-CPLS.....	46
Figura 25. Netlogo Web	47
Figura 26. Interfaz que muestra el sector de Bogotá determinado para el desarrollo del experimento.....	48

Figura 27. Interfaz gráfica donde interactúa el humano coordinador con el CPLS.	49
Figura 28. Ventana de inicio de la aplicación CPLS.	50
Figura 29. Asignación de pedidos en los vehículos propios y tercerizados.	52
Figura 30. Información de órdenes por entregar en la plataforma H-CPLS.	53
Figura 31. Cuadrantes del mapa de la plataforma H-CPLS.	53
Figura 32. Evaluación económica en la plataforma H-CPLS.	54
Figura 33. Fases de experimentación en la plataforma H-CPLS.	55
Figura 34. Utilidad del participante 1 en la plataforma H-CPLS.	57
Figura 35. Utilidad del participante 2 en la plataforma H-CPLS.	58
Figura 36. Utilidad del participante 3 en la plataforma H-CPLS.	58
Figura 37. Utilidad del participante 4 en la plataforma H-CPLS.	59

Lista de Tablas

Tabla 1. Categorías y subcategorías para la elaboración del modelo cognitivo.	25
Tabla 2. Simbología del método de Jefferson Gail, para realizar transcripciones.	27

Capítulo 1. Introducción

1.1. Justificación

La logística es una cadena de abastecimiento que articula varios eslabones en pro de anticipar la demanda, planear eficiente y eficazmente los procesos y procedimientos inmersos en todas las interacciones, con el objetivo de incrementar la productividad, optimizar los procesos y procedimientos, elevar el nivel de servicio al cliente, disminuir costos operativos e integrar los procesos, procedimientos e información (Santamaría-Peraza, 2012).

La primera revolución industrial estuvo marcada por la invención del motor eléctrico y la producción mecánica; la segunda revolución industrial se considera que inició con la existencia de la electricidad y la cadena de montaje, que propició la producción en masa; la tercera revolución industrial “digital”, se asoció con la creación de los computadores, la que avanzó desde el desarrollo de semiconductores, pasando por los grandes servidores de información, hasta la internet. La cuarta revolución industrial es conocida como la segunda “era de las máquinas”, en la que la automatización y creación de cosas tiene un crecimiento sin precedentes, por efecto del desarrollo formidable de las tecnologías digitales (Schwab, 2017).

Si bien, la cuarta revolución industrial se asocia con la idea de fábricas inteligentes, ésta genera un conjunto de sistemas de fabricación virtuales y físicos que cooperan entre sí, dinámicamente, en lugares geográficamente distintos Schwab (2017). La principal característica de esta revolución está en una fusión de las tecnologías, que se desarrollan en los diferentes campos del conocimiento, con entes físicos, digitales y biológicos.

Las transformaciones sociales, económicas, culturales y en general las provocadas por diferentes revoluciones industriales, van de la mano con la evolución y adaptación propia de las diferentes áreas del conocimiento existentes; así mismo, las nuevas áreas del conocimiento propias y pertinentes, con los nuevos desarrollos. En este sentido, la ingeniería se ha venido desarrollando y adaptando, en la medida en que las revoluciones industriales y en general los avances científicos se han ido presentando.

Dicho lo anterior, la logística como parte de un conjunto de sistemas que interactúan en el mundo globalizado, no es ajena a los avances tecnológicos y a la revolución industrial antes descrita, por lo que, estudiar, adaptar, proponer o transponer diferentes avances científicos o tecnológicos, resultan siendo pertinentes para el avance de la ingeniería. En el caso particular, estudiar la forma en cómo será el proceso de automatización en una relación estrecha con el rol humano, en el contexto propio de la logística urbana terrestre, resulta pertinente y necesario. Es en este último espacio donde la presente investigación tiene lugar.

1.1 Planteamiento de problema

Los mercados actuales requieren de las industrias, estar a la vanguardia ante el avance incremental de la ciencia y la tecnología. La globalización de los mercados, la competitividad internacional, la volatilidad de los mercados, los productos cada vez más personalizados y con ciclos de vida más cortos, retan constantemente a las industrias,

exigiéndoles ser cada vez más flexibles, eficientes y adaptables ante los incesantes cambios (Hofmann & Rüsçh, 2017). Esta nueva era de avances tecnológicos es conocida como la cuarta revolución industrial o la Industria 4.0 y tiene sus orígenes a finales del año 2011, en Alemania, con el lanzamiento gubernamental de la estrategia de alta tecnología, que apuntaba a convertir este país en uno de los más importantes e influyentes a nivel mundial, en materia de maquinaria y manufactura automatizada (Rojko, 2017). De acuerdo con Shafiq y otros (2015), Industria 4.0 se define como “...la integración de maquinaria y dispositivos físicos complejos con sensores y software en red, utilizados para predecir, planificar, controlar y obtener mejores resultados comerciales y sociales...” apoyados en tecnologías claves conocidas como Sistemas Ciberfísicos (CPS), Internet móvil e Internet de las cosas (IoT), Computación en la nube, Big data y técnicas de analítica (Zhou et al., 2015).

Un CPS se compone por una parte global, una local y una física, como se observa en la Figura 1. La parte física se encarga de brindar información a la parte local, por medio de diferentes sensores que vienen a ser su representación gráfica, también denominada gemelos digitales. La información como ubicación, producto disponible y diferentes situaciones que puedan ocurrir en el entorno físico, se ven reflejados en la virtual. La parte global se encarga de controlar y tomar decisiones que son enviadas a la parte local y posteriormente a la física, esta última parte puede tener un controlador a nivel digital, como un computador, o un controlador humano, quien hace la labor de pilotaje. Por ello, en la situación planteada en este proyecto, la interacción a nivel global entre un CPS y el humano es total, porque además de incluirlo en el nivel global, es necesario involucrarlo como parte del sistema.

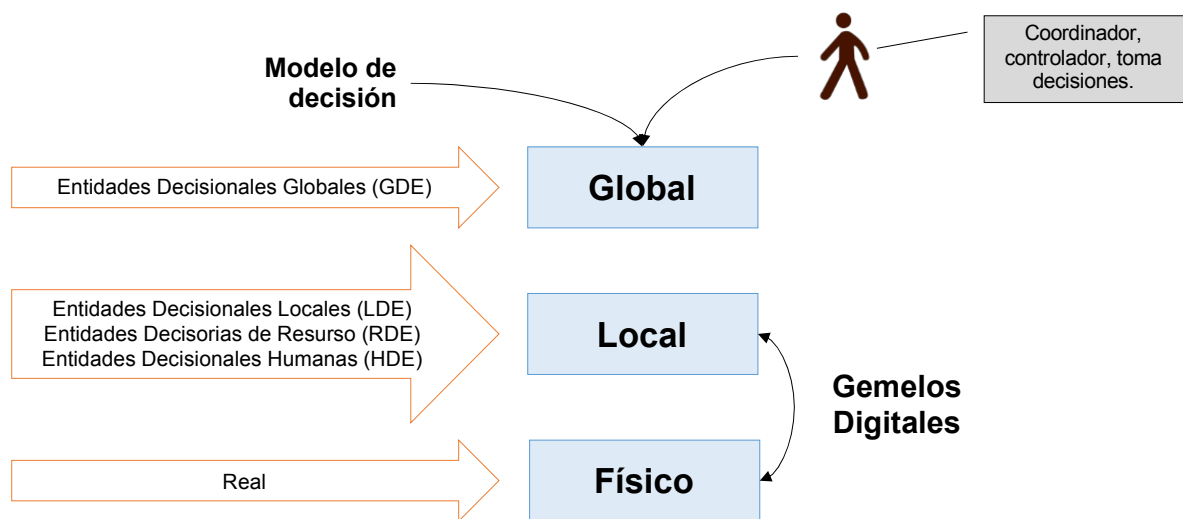


Figura 1. Sistema de interacción Humano Ciberfísicos H-CPS.
Fuente: Autores.

Diversas áreas del conocimiento están trabajando en diseñar, implementar y evaluar enfoques adecuados para la aplicación de CPS, como son el entorno aeroespacial (Sampigethaya y Poovendran, 2013), de infraestructura civil (Li, Cheng, G., Cheng, W.,

y Mei, 2019), de salud (Ariani y Soegijoko, 2014), de energía (Ferrell y Lunsford, 2015), entre otros, como se ve en la Figura 2, siendo el área de manufactura el más trabajado, según la revisión literaria realizada. Estos enfoques están respaldados por el desarrollo y la mejora de la base tecnológica necesaria para facilitar la implementación de esta tendencia (Leitã, Colombo y Karnouskos, 2015).

Aunque se avizoran muchas oportunidades a través de la integración de los ambientes físicos con los sistemas computacionales, los CPS traen igualmente grandes desafíos, como son: seguridad ante ataques maliciosos (hacking), confiabilidad, reacción oportuna ante cambios abruptos que pueden generarse en el sistema, heterogeneidad de los componentes y tecnologías, altos costos de adquisición del sistema, dinamismo ante los continuos cambios del ambiente en que opera, eficiencia energética, entre otros (Marwedel & Engel, 2016).

En diferentes industrias se presenta una situación particular con el uso de los CPS, que involucra al humano como parte de la fabricación, ya que sus capacidades son fundamentales y difíciles de sustituir, por lo que al diseñar e implementar un CPS, se debe tener en cuenta estas capacidades, necesidades y comportamientos, como parte integral, pues de no hacerlo, se corre el riesgo de perder flexibilidad y adaptabilidad. La presencia humana contribuye al sistema con su capacidad para abordar situaciones no planificadas, aportando experiencia y conocimiento, pero también introduce restricciones propensas a errores, variación, fatiga y juicio erróneo (Fantini, Tavola, Taisch, Barbosa, Leitao, Liu, Sayed y Lohse, 2016).

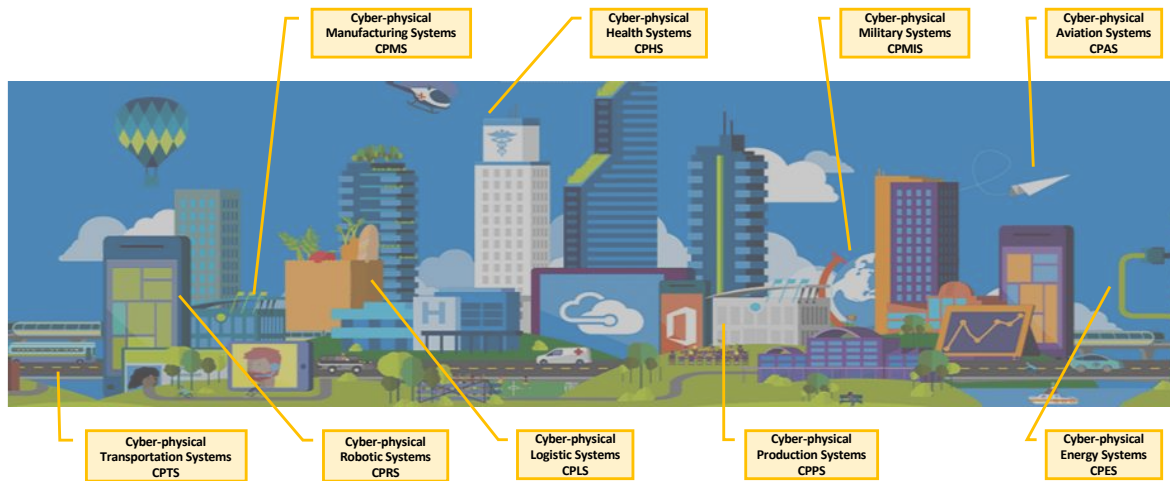


Figura 2. Aplicaciones de los Sistemas CiberFísicos.

Fuente: Autores.

Se pueden identificar dos casos de intervención del humano en un CPS, el primero (Human-in-the-Loop) donde el sujeto supervisa y ajusta, ordena directamente el sistema, es una fuente de datos y notifica perturbaciones. El segundo está compuesto por

actividades relacionadas con las interacciones con la red y las aplicaciones de CPS e incluye la interacción con otros humanos. Aunque este segundo nivel no ha sido muy estudiado (Human-in-the-Mesh), se ha identificado que la persona puede cumplir la función de recibir alertas, identificar situaciones e intervenir, analizar y cambiar los planes (Fantini et al., 2016).

Como se ha mencionado anteriormente, la integración humana en los CPS se ha empezado a estudiar desde hace poco tiempo, pero se identifican algunos desafíos importantes como determinar el mejor medio para integrar y aprovechar las capacidades y experiencia humana en un CPS; amortiguar el error, la variación, la fatiga y juicio erróneo de un humano, dada su naturaleza; así como la falta de personal calificado por el desconocimiento de las bondades de la industria 4.0.

Este proyecto pretende estudiar los Human Cyber Physical Logistics System (H-CPLS), que consiste en la interacción del humano con un sistema ciber físico de transporte logístico, desde el rol de controlador, resaltando que la información encontrada fue muy limitada. Para lograr modelar la interacción humana con el CPLS, se requerirá del uso de herramientas computacionales que permitan crear y modelar cada entidad del mundo real que conforma el sistema (configurándole comportamientos predefinidos que le permitan actuar de manera autónoma), otorgándoles la capacidad de captar y sentir cualquier condición que ocurra en el ambiente y actuar de manera apropiada con otras entidades, para lograr el (los) objetivo establecido(s) para todo el sistema. Una herramienta que permite modelar sistemas como el planteado, es conocida como la Modelación y Simulación Basada en Agentes o Agent-Based Modeling and Simulation “ABMS” (Bonabeau, 2002). Este tipo de modelación permite emular al mismo tiempo, la interacción de los comportamientos que existen entre los diferentes agentes o entidades en los sistemas logísticos. Con lo anterior, basados en el modelo Inoue (2012), la pregunta que direcciona esta investigación es ¿cuáles son las características del modelo cognitivo de un supervisor humano, en la coordinación y distribución logística urbana?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Rediseñar el modelo cognitivo de toma de decisiones propuesto por Inoue para controladores aéreos, con el fin de ser usado por un supervisor humano, en la coordinación de la distribución logística urbana, partiendo del modelo mediante una plataforma de simulación basada en una arquitectura H-CPLS.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Establecer los requerimientos de la arquitectura de un CPLS, que permita la interacción humana como supervisor en tiempo real y facilite la eficiencia en la toma de decisiones.
2. Proponer un modelo cognitivo para un supervisor humano, que facilite la toma de decisiones en una cadena de abastecimiento urbana, adaptado desde el modelo de Inoue para controladores de tráfico aéreo, desarrollado en 2012.

3. Construir una plataforma de logística urbana basada en la arquitectura de CPLS, que permita emular el proceso de supervisión del despacho de una cadena de abastecimiento urbana y realizar las simulaciones del proceso logístico.
4. Realizar el experimento de validación del modelo cognitivo en la coordinación del CPLS, por medio de protocolos verbales, a través de la plataforma de logística urbana.

1.3 Alcance y limitaciones

En el desarrollo de la presente investigación se identificaron algunas limitaciones que se describen a continuación:

Los participantes no se seleccionaron al azar en la población en estudio, dado que no se tiene acceso a la población en su totalidad. Sin embargo, el rigor adelantado para seleccionar casos representativos de dicha población, mitiga el hecho de la limitación y aunque los resultados no son generalizables, el rigor y los casos representativos permiten señalar que se cuenta con una evidencia empírica en relación con el modelo cognitivo aquí propuesto, como resultado de la transposición o adaptación del modelo INOUE.

Una segunda limitación en la presente investigación corresponde a la generalización del modelo cognitivo reelaborado para la logística urbana. Lo anterior, aunque se constituye en una limitación, podría también tomarse como una oportunidad para continuar las investigaciones, que amplíen la cartografía de los modelos cognitivos en el marco de los H-CPS.

1.4 Fases de desarrollo de la investigación

El diseño metodológico seleccionado tuvo cuatro fases: a) fase de exploración, b) fase de experimento, c) fase de diseño y desarrollo de aplicación en NetLogo® d) fase de validación.

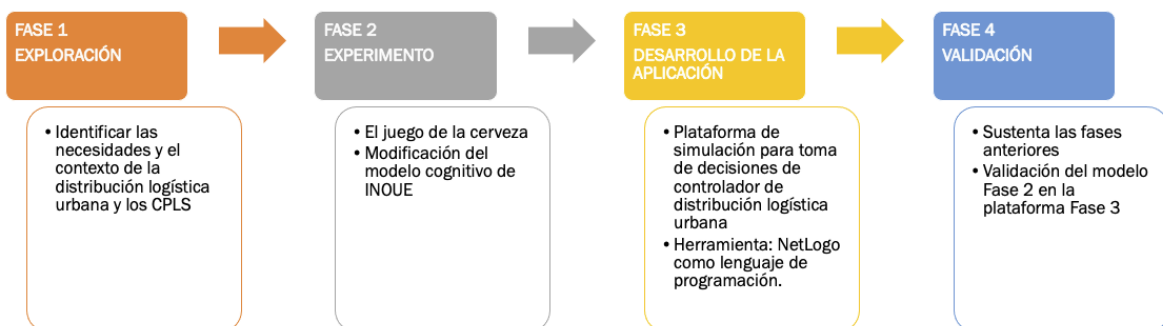


Figura 3 Fases de la investigación.

Fuente: Autores.

Fase de exploración. Esta fase consiste en identificar el contexto propio de la actividad necesaria en la coordinación de la distribución logística urbana, a partir de la consulta

bibliográfica y de entrevistas a personas que desarrollan estas actividades. Así mismo, explorar sobre la actualidad de los CPLS como parte de la industria 4.0 y la participación humana como parte importante.

Fase de experimento. Esta fase se apoyó en una actividad que regularmente se utiliza en la formación de ingenieros industriales denominado “el juego de la cerveza”. El sentido de esta actividad se configura en transponer el modelo cognitivo INOUE, cuyo origen es en los controladores aéreos, a la logística urbana de distribución. De esta fase surgen las modificaciones al modelo cognitivo original.

Fase de desarrollo de la aplicación. Esta fase consiste en el conjunto de actividades necesarias para diseñar y desarrollar una aplicación, soportada en NetLogo, para simular la logística de distribución urbana, donde el controlador pueda tomar decisiones.

Fase de validación. Esta fase se sustenta completamente en las fases anteriores, hace la validación del modelo cognitivo resultado del experimento del Juego de la cerveza, en la plataforma de simulación basada en la arquitectura CPLS.

Capítulo 2. Requerimientos de la Arquitectura H-CPLS

2.1 Introducción

En esta sección se hace la identificación del contexto propio de los Sistemas Ciberfísicos en logística y cadena de abastecimiento, en la búsqueda de establecer los requerimientos de una arquitectura CPLS, así como la interacción humana en ellos, desde los antecedentes en el área y la exploración, a partir de entrevistas a personas que desarrollan actividades en el contexto propuesto.

2.2. Metodología

En la fase exploratoria, se lleva a cabo la entrevista semiestructurada (Hernández-Sampieri et al., 2014), en el entendido que se parte del conocimiento inicial de la labor propia de la logística, en consecuencia, las preguntas se van direccionando específicamente a explorar el cómo y el para qué de la actividad logística que desarrolla el entrevistado y como él puede auto identificar su proceso cognitivo.

La entrevista se organiza en tres momentos: un momento inicial, un desarrollo y un cierre. A continuación, se describen cada uno de los momentos.

Momento inicial. Se le indica al entrevistado el título y el objetivo de la investigación y se le pide su aprobación en relación con el consentimiento informado; en éste, se indica la reglamentación vigente de protección de datos, asimismo, se hace énfasis en que toda la información que va a aportar, será utilizada única y exclusivamente con fines académicos y su nombre gozará del anonimato. Finalmente se pide la autorización para grabar la entrevista, toda vez que se desarrolla a través de la plataforma de MICROSOFT TEAMS®.

Momento de desarrollo. Se inicia el diálogo explorando un poco la actividad global que desarrolla el entrevistado, a través de las preguntas que se relacionan a continuación:

- Describanos cómo es el proceso que realiza en su trabajo.
- ¿Cómo recibe la información en su trabajo?
- ¿Qué información ven o reciben las personas que toman decisiones? ¿Cómo reciben la información?
- ¿Cuál es el proceso (mental) que usted emplea para la toma de decisiones? (se precisa al entrevistado que se entiende como proceso mental, todos aquellos procesos cognitivos que tienen lugar en el cerebro, mediante las cuales éste (el cerebro) almacena, elabora, reelabora o traduce los datos que aportan nuestros sentidos, para que puedan ser utilizados en el momento actual o en el futuro).
- Teniendo en cuenta la información recolectada, ¿cuáles son las decisiones que usted puede tomar?

- ¿Cómo se hace la evaluación de alternativas?
- ¿En qué momento del proceso se hace esa toma de decisiones?
- ¿Qué impacto tiene esa decisión?
- ¿Qué consecuencias tiene una mala decisión?

Las preguntas formuladas tienden a establecer cuáles son las entradas en el sistema cognitivo del entrevistado, develar el proceso cognitivo que desarrolla, indagar por los criterios de evaluación y toma de decisiones, así como sus consecuencias. Lo anterior, se enmarca dentro del proceso que representa el modelo cognitivo INOUE (Inoue et al., 2012).

Momento de cierre. El entrevistador saluda y da las gracias al entrevistado, reiterando la importancia que constituye sus aportes para la presente investigación, adicionalmente reitera que la información personal será tratada anónimamente.

2.2 Industria 4.0

Como ya se indicó, la revolución de la industria 4.0 se identifica a partir de un avance notable de las tecnologías emergentes, que ponen el desarrollo corporativo en un punto de inflexión, en el que los procesos de automatización resultan inminentes para mantenerse activos. Este proceso de evolución, va de la mano con la necesidad que el rol del ser humano permanezca activo e intenso, con interacción de diversos tipos (Schwab, 2017). Se supone que el desarrollo tecnológico trae consigo potenciales beneficios para la integración, innovación y autonomía de procesos (Cortés et al., 2017).

La compañía Amazon, puede identificarse como una de las Compañías que rápidamente dio el paso hacia las industrias 4.0, en el contexto del denominado comercio electrónico, incorporando tecnologías derivadas de la inteligencia artificial, mediante el uso de robots para el transporte, organización y almacenamiento de mercancía en sus bodegas, los cuales interactúan con las personas que trabajan en las plantas. Asimismo, la compañía Amazon incorpora los diferentes modelos y modelamiento estadístico, con Big Data, Data Mining entre otras, para impulsar productos y en general el conjunto de negocios activos y futuros, al cual se han dedicado o dedicarán.

En la aproximación de conceptualización a la industria 4.0 se identifican cuatro enfoques: social, basado en competencias, en la producción y en el comportamiento. En el enfoque social, si bien el desarrollo tecnológico-humano de la industria 4.0 prevé el incremento del nivel de vida, puede traer consigo un alto nivel de desempleo, en el entendido que muchos procesos se van a automatizar. El enfoque basado en competencias, señala que la industria 4.0 trae consigo cambios estructurales a nivel de competencias para el trabajo, que implica una formación en relación con las tecnologías emergentes. El enfoque basado en producción, señala que la automatización conlleva la necesaria modernización de la industria a nivel de producción. Enfoque basado en el comportamiento prevé una mayor presencia de la interacción objeto-objeto, en razón al desarrollo de tecnologías

emergentes que sustituyen algunas actividades propias del ser humano (Ministerio-de-Tecnologías-de-la-Información-y-las-Comunicaciones, 2019).

2.3 Sistemas ciberfísicos con interacción humana

Se parte por comprender los Sistemas Ciberfísicos con Interacción Humana (H-CPS sigla por su escritura en inglés Human-Cyber-Physics System), como la fusión de recursos humanos, equipos y elementos para establecer una o más interfaces de interacción, formuladas ciberfísicamente, donde se conectan los mundos físico y cibernético (Suárez-Riveros et al., 2021). Regularmente los H-CPS son empleados en las actividades relacionadas con el monitoreo y control de las diferentes operaciones logísticas, así como para el aprovechamiento del conocimiento generado por el recurso humano, durante las diferentes partes de los procesos y procedimientos.

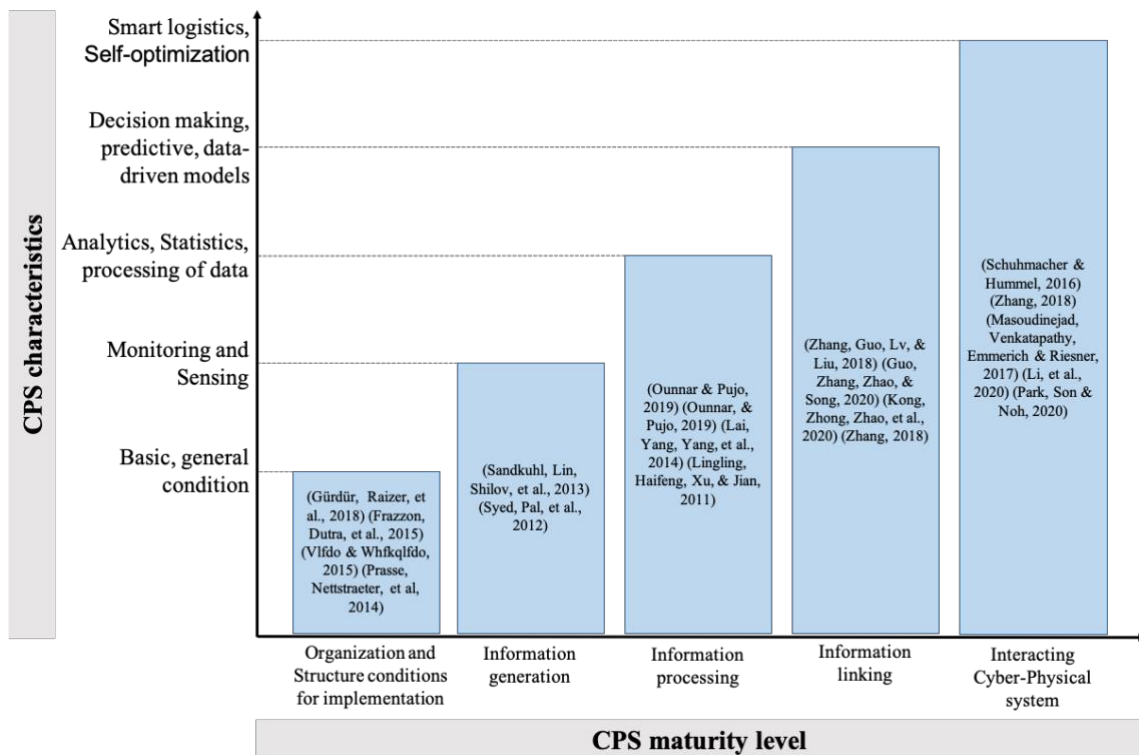


Figura 4. Niveles de maduración de los sistemas H-CPS

Fuente: Los autores a partir de Laboratorio de Máquinas Herramientas e Ingeniería de Producción de la Universidad RWTH Aachen.

Un ejemplo es el de Kong et al (2020), quien propone una plataforma en la nube, diseñada para resolver problemas en las cadenas logísticas del comercio electrónico, capaz de obtener información de un mundo físico y generar información útil para la toma de decisiones, en tiempo real. Como resultado de estos casos de estudio, se aplican incrementos de productividad, mayores eficiencias, mayor velocidad, precisión, escalabilidad, entre otros.

En los H-CPS se utiliza una técnica para establecer la madurez del modelo. La técnica consiste en cinco niveles, siendo uno el nivel más básico y cinco el nivel más avanzado. La Figura 4 muestra el modelo propuesto en el laboratorio de máquinas y herramientas ingeniería de producción, de la universidad RWTH Aachen. En el primer nivel se "Establecen conceptos básicos", en la creación de condiciones organizativas y estructurales para la implementación de la CPLS. Un segundo nivel "Crea transparencia", reflejando la necesidad de disponer de datos en tiempo real, para todas las actividades relacionadas con la CPLS. Un tercer nivel "Incrementa la comprensión" al indicar los instrumentos de agregación existentes para deducir nuevos conocimientos. El cuarto nivel "Mejora la toma de decisiones" en relación con la adaptación basada en la colaboración del proceso CPLS y el quinto nivel "Sistema logístico físico cibernético interactivo", indica las capacidades independientes de resolución de problemas de CPLS colaborativo (Li et al., 2020).

2.4 Aportes desde la experiencia

Las personas entrevistadas dieron su autorización para el uso de la información con fines académicos, sin embargo, sus nombres reales fueron modificados, con el propósito de proteger su identidad.

2.4.1 Cadena de abastecimiento

Ana trabaja en una empresa multinacional colombiana productora de alimentos lácteos, se desempeña dentro del área de planeación como Coordinadora de Planeación de la Demanda y Abastecimiento. El equipo de trabajo al que pertenece está dividido en cuatro sub-áreas, la primera enfocada en la planeación, la proyección de la demanda de tipo de producto, según el canal y la región; en segundo lugar, está Planeación Táctica, quienes toman la información que entrega el área anterior y determinan si en planta se cuenta con la capacidad para producir lo proyectado; en tercer lugar esta el área productiva, quienes se encargan de hacer la organización de la producción semanal, según los datos entregados por las áreas anteriormente mencionadas y finalmente se encuentra el área de abastecimiento, encargada de entregar el producto demandado en cada una de las regiones, según las necesidades del plan de ventas.

La planeación de la demanda y abastecimiento dentro de las áreas, se hace mediante un indicador muy importante para la compañía denominado Nivel de Servicio, que mide la relación entre el pedido que hace el cliente y el cumplimiento a éste. Su papel dentro de la compañía, ubica a Ana en medio del área de ventas, producción y logística, ya que debe estar constantemente informada sobre las necesidades de los clientes, los cambios en el mercado, las capacidades de producción de las plantas y de distribución de los centros de acopio, para cumplir con los pedidos.

Teniendo en cuenta esta información inicial sobre la compañía en la que trabaja Ana y su papel en ella, se resaltan los siguientes puntos importantes de la entrevista:

- La mayor fuente de información proviene del sistema, en el cual se cargan los detalles sobre pedidos, capacidades, productos disponibles y demás. También del

área comercial, recibe información por llamada, por correo electrónico o mensajes por WhatsApp, para notificar la necesidad de nuevos productos, así como del área de producción y logística para notificar retrasos.

- Toma diferentes decisiones como: mover producto de un lugar a otro, bloquear la entrega de un producto, modificar la fecha de entrega de un pedido y cancelar una orden de compra. Además, está pendiente del indicador de servicio, para hacer los ajustes que se consideren pertinentes y lograr su mejora.
- Cada una de las decisiones que toma, conlleva consecuencias que asume según el cliente. La decisión más importante está relacionada con los pedidos especiales, catalogados así, porque son de clientes de alto nivel, por ejemplo, un pedido de éstos, puede bloquear o generar posibles retrasos, en la entrega de pedidos a otros clientes. La importancia del cumplimiento de estos pedidos especiales para los clientes, está enlazado a los indicadores y a las posibles sanciones según el contrato que se tiene con cada uno.
- Antes de tomar cualquier tipo de decisión, Ana evalúa las consecuencias y si es posible mitigarlas en el corto plazo. La comunicación entre las diferentes áreas es muy importante, para que, en caso de una decisión de emergencia, se pueda reaccionar a tiempo en toda la cadena y mitigar lo más rápido posible las consecuencias de la decisión.

2.4.2 Logística de distribución

Daniel y Pilar trabajan en una empresa de distribución logística colombiana de muchos años de trayectoria, fundada en 1982 en Bogotá. Ambos son responsables de la operación de distribución de la ciudad de Bogotá; diariamente se encargan de verificar el pronóstico de distribución zonal, que incluye los paquetes ingresados el día anterior, para distribuir en la ciudad de Bogotá y lo ingresado de otras zonas hacia la ciudad. Así mismo, son notificados sobre los vehículos y personal disponibles para ese día, según la planeación. Teniendo en cuenta esta información ellos proceden a hacer la planeación del día, contemplando planes de choque para reaccionar ante las situaciones que se puedan presentar a lo largo de la jornada. La zona de Bogotá, gestionada por Daniel y Pilar, maneja alrededor de 24.000 envíos diarios y 313 vehículos, con personal capacitado, distribuidos en los 7 acopios de la ciudad.

Según la información obtenida a lo largo de la entrevista se resaltan los siguientes puntos:

- La fuente de información, que para Pilar y Daniel son los pronósticos, se entregan por WhatsApp en diferentes tiempos. El de Bogotá-Bogotá se entrega a media noche y el de nivel nacional a Bogotá, se recibe a las 4:00 am aproximadamente. También se recibe la información del número de vehículos disponibles en cada uno de los puntos de acopio y su respectiva capacidad, en número de envíos por vehículo.
- Una vez recibidas las diferentes fuentes de información, se procede a tomar decisiones principalmente en relación con el número de vehículos, según su capacidad y la necesidad por zonas en la ciudad de Bogotá. Si una zona de la

ciudad tiene para ese día un flujo mayor al habitual, se procede a ampliarle la capacidad asignando un mayor número de vehículos.

- A lo largo de la jornada se presentan imprevistos, como ejemplo, fallas mecánicas en los vehículos. Para subsanarlos, el área encargada tiene una reserva de vehículos disponibles para hacer transbordo de la mercancía y continuar con las entregas. Otros imprevistos que se pueden presentar a lo largo de la jornada, pero con menor frecuencia, surgen por temas climáticos, bloqueos viales por protestas sociales o accidentes de tránsito; ante este tipo de situaciones se recibe la notificación por WhatsApp desde el vehículo y con el aval del área de seguridad y de logística, se procede a dar indicaciones de rutas alternas a los operarios.
- El área de logística cuenta con un aplicativo con un código por cada sub-zona dentro de Bogotá, mediante el cual pueden rastrear el vehículo, ver los tiempos de demora en cada una de las entregas y los retrasos para moverse de un punto a otro, lo cual brinda herramientas para tomar decisiones a lo largo del día, sobre el cambio de ruta o el desvío de ésta. Adicionalmente, se usa una aplicación que reporta la eficiencia y el rendimiento en la entrega de cada paquete por parte de los operarios, ayudando a mejorar la planeación de las entregas, según los tiempos de cada vehículo y para aumentar o disminuir el número de piezas a entregar para el siguiente día.
- Cuando se presentan situaciones de cumplimiento que requieren una decisión inmediata, se hace una valoración de los costos versus los indicadores de cumplimiento de los clientes, para decidir cuál es la mejor opción para cada caso. Para la empresa transportadora, la satisfacción del cliente es un punto muy importante.

2.5 Resumen

En concordancia con lo desarrollado en este capítulo para establecer los requerimientos de la arquitectura de un CPLS, se detectó en la revisión bibliográfica una serie de desafíos y oportunidades, debido a los recientes avances tecnológicos y cómo se pueden potenciar si se utilizan adecuadamente las tecnologías habilitadoras de la cuarta revolución industrial. Por ejemplo, la implementación de tecnología para el almacenamiento de información en la nube, merece especial atención para garantizar la integridad, privacidad y seguridad de la información, ya que se detecta el riesgo de fuga de información por ataques cibernéticos o robo de información. Igualmente, es desafiante encontrar una conexión armónica entre el hombre y la CPLS, de tal manera que esta integración pueda ser aprovechada para el cumplimiento de los objetivos de las organizaciones. Por último, de las entrevistas desarrolladas dentro del sector productivo, se detectó la importancia de tener claridad de las variables que impactan las decisiones, como los productos disponibles, la ubicación propia de los clientes, el tráfico en la zona donde se mueven los vehículos y los indicadores de productividad, así como las consecuencias por cada decisión.

Capítulo 3. Modelo cognitivo de un supervisor humano en la coordinación de distribución logística urbana

3.1 Introducción

En este capítulo se modifica el modelo cognitivo desarrollado por Inoue en 2012 para controladores de tráfico aéreo. Esta fase se desarrolló haciendo uso del experimento de campo, en el que los participantes desarrollan la actividad propuesta en el Juego de la cerveza. Se recolectó la información con el uso de protocolos verbales, para ser procesada y obtener, por semana, los modelos cognitivos resultantes.

3.2 Metodología

La actividad que se seleccionó como instrumento para la fase de experimento, consiste en un juego que simula una cadena de suministro corta de cuatro eslabones: fabricante, distribuidores, mayoristas y minoristas. El juego de la cerveza parte de comprender la logística, como el conjunto de técnicas y medios utilizados para gestionar los flujos de material y los flujos de información, con el objetivo de satisfacer bienes y servicios a un mercado o usuario final, atendiendo los términos de calidad, cantidad, lugar y momento (De-La-Puente, 2016).

3.2.1 Enfoque Metodológico

En este segmento, la presente investigación, tiene un enfoque principalmente cualitativo (Hernández-Sampieri et al., 2014; Reyes, 1999), toda vez que centra su proceso en recolectar, analizar e interpretar información derivada de entrevistas y experimentos en campo.

Para el análisis de la información del caso de estudio en el experimento, se tienen en cuenta los protocolos verbales, entendiendo que este método permite identificar la interacción de la actividad cognitiva del sujeto que participa de la investigación (Ericsson & Simon, 1993; Payne, 1994). Se ha identificado que la técnica de protocolos verbales tiene bondades en la identificación de procesos cognitivos (Requena, 2003), en razón a que cuando los sujetos expresan sus pensamientos en voz alta, existe una conexión directa entre lo que expresa y lo que cognitivamente elabora, entendiendo que la expresión en voz alta, está a una fracción de tiempo de la operación cognitiva realizada para su verbalización.

Así las cosas, en el desarrollo de la actividad se ha pedido de manera especial a los participantes, que verbalicen en voz alta las actividades que van desarrollando, para efecto de quedar registrada audiovisualmente. Este hecho, tiene especial relevancia, en el entendido que existe una conexión estrecha entre la verbalización y la actividad cognitiva (Ericsson & Simon, 1993; Russo et al., 1989), por lo que la información obtenida a partir de esta verbalización, puede ser tomada como datos e información relevante para la construcción del modelo cognitivo.

3.2.2 Diseño metodológico

Esta fase se apoyó en una actividad que se utiliza con regularidad en la formación de ingenieros industriales, denominado “el juego de la cerveza”. A partir de éste, se pretende

analizar la interacción de los participantes con “el juego de la cerveza”, a partir del modelo Inoue.

$$G_1 \rightarrow X_1 \rightarrow O_1$$

Figura 5. Diseño metodológico para el experimento con “el juego de la cerveza”

Fuente. Los autores.

El diseño metodológico de esta fase se indica en la Figura 5, utilizando la notación descrita por Hernández, et al. (2014), en la que cada una de las variables se refiere a:

- G_1 grupo de participantes
- X_1 la actividad en la que los participantes interactúan con “el juego de la cerveza”.
- O_1 la observación que se hace por parte de los investigadores.

3.2.3 Los participantes

La investigación contó con la participación de 10 estudiantes de último semestre de ingeniería industrial, de una universidad privada en la ciudad de Bogotá - Colombia. En el proceso participaron 7 mujeres y 3 hombres. La actividad se organizó en tres grupos de trabajo, los cuales la desarrollaron en su totalidad. Para efecto del estudio, se dejó un solo grupo, correspondiente al que atendió con mayor rigor la técnica de protocolos verbales y que adicionalmente, aportó mayor información en el propósito de la investigación.

Este experimento se realizó de manera presencial, en el laboratorio de una Universidad privada, atendiendo todas las medidas de bioseguridad, debido a la pandemia por COVID-19. Lo anterior facilitó el experimento.

En razón a que esta investigación no es cuantitativa, no se tienen muestreos probabilísticos; sin embargo, trata de vincular casos de estudio, por lo que se decidió seleccionar profesionales próximos a terminar su carrera, aproximando su perfil, al de las personas que potencialmente pueden desarrollar la actividad indicada.

3.2.4 Protocolo para el desarrollo del experimento

Para el desarrollo de la actividad “el juego de la cerveza” se busca un sitio aislado, con las debidas condiciones físicas, tecnológicas y demás, que permitan a las personas participantes, concentrarse en el desarrollo de la actividad. Se verifica la infraestructura tecnológica necesaria para hacer las grabaciones, se hacen ejercicios previos de grabación y verificando la calidad de las mismas, de tal manera que se garantice su posterior procesamiento. La secuencia que se sigue para el desarrollo del experimento es:

- [Paso 01] Se da un saludo bienvenido a todos los participantes.
- [Paso 02] Se leen los pormenores de la investigación en curso como: título, objetivo y pregunta.

- [Paso 03] Se da lectura del consentimiento informado, en el que se indica que la información recolectada será utilizada únicamente con fines académicos y que se guardarán anonimato de la participación de las personas, adicionalmente se indica que la protección de la información, está ajustada a la normatividad vigente en Colombia. Se indica que todas las actividades que se van a desarrollar serán grabadas para su posterior análisis. Finalmente, se informa que en cualquier momento pueden retirarse del ejercicio y pedir que no sea tenida en cuenta su información en el proceso de investigación.
- [Paso 04] A continuación, se dan las instrucciones relacionadas con los protocolos verbales, en el que se indica que deben verbalizar cada uno de las acciones que van a ir desarrollando a lo largo del juego.
- [Paso 05] Se desarrolla un ejercicio inicial de entrenamiento, en cuanto al uso de los protocolos verbales.
- [Paso 06] Se describe en qué consiste el juego de la cerveza y cómo se organizan los roles de los participantes.
- [Paso 07] Se da inicio al juego, desarrollándose las actividades semana a semana, como se ha previsto.
- [Paso 08] Se acompaña el desarrollo del juego de forma pasiva, a menos que sea necesaria una aclaración a los participantes, procurando que no pierdan la concentración y la verbalización, en el momento de desarrollar las actividades.
- [Paso 09] Finalizado el juego, se procede a dar las gracias a cada uno de los participantes, expresando el reconocimiento por el tiempo dedicado.
- [Paso 10] Se revisa que la calidad de las grabaciones haya quedado en condiciones adecuadas, para ser estudiadas posteriormente.

3.2.5 Instrumento – El juego de la cerveza

El juego fue creado en la década de los 60 por la compañía System Dynamics Group de Sloan o parte de una investigación en desarrollo de Jay Forrester, el cual ha tenido un gran éxito en los diferentes niveles educativos y sectores sociales, para ilustrar la interacción propia de una cadena logística (Sterman, 1992).

El juego ha mostrado un poder didáctico en la formación propia de logística en el área de ingeniería, de hecho, es usualmente utilizado como parte de los procesos didácticos formativos del ingeniero industrial o afin. En el resultado del juego se han encontrado algunas desviaciones no aleatorias, que podrían entenderse como patrones de comportamiento, tales como oscilación, amplificación y retraso de fase.

La oscilación entendida cuando la producción fluctúa significativamente en torno a la tendencia de crecimiento, el periodo dominante es el ciclo económico, un ciclo de prosperidad y la recesión presenta una variabilidad considerable; la amplificación refiere la amplitud de las fluctuaciones en la producción de materiales, la que es significativamente mayor que la producción de bienes de consumo; el retraso de fase se identifica cuando los máximos y mínimos en la oscilación de producción, tienden a retrasarse con relación a la producción de bienes y consumo (Sterman, 1992, 2015).

El juego de la cerveza es una simulación de una cadena de distribución, que puede ser cerveza u otro producto, en el que intervienen el cliente, el transportador y un moderador que venda la información, con la idea de facilitar la actividad. Usualmente el juego se desarrolla en un ciclo recurrente, por semana, hasta 25 semanas. Inicia con la cadena de suministro en equilibrio y finaliza, cuando uno de los eslabones quiera o cuando han transcurrido las semanas programadas.

Los materiales empleados en el juego son fichas, tableros, tabla de costos, orden de pedido, hoja de puntuación y tabla de tiempos. Los jugadores son seis, de los cuales, cuatro representan la cadena de suministro y dos participantes externos que no intervienen. En la figura 6 se muestra los 4 participantes y los investigadores (uno de ellos toma la foto).



Figura 6. Imagen que muestra el momento inicial de la actividad de simulación en la que el equipo investigador da las instrucciones.

Fuente. Los autores.

Para la organización de este juego se atendió, principalmente, el manual elaborado en la tesis de De-La-Puente (2016) el cual se encuentra en el Anexo 1, con las modificaciones correspondientes, para adecuarlo al contexto propio de esta investigación.

Para el registro de la información, se utilizan cámaras de video, grabadoras, celulares, trípodes y en general toda la logística necesaria.

El sitio en el cual se desarrolló la actividad, fue el laboratorio de ingeniería de una Universidad privada en Bogotá-Colombia, el cual cuenta con espacios y material adecuado, junto con todos los protocolos de bioseguridad necesarios para protección de la salud, en razón a la pandemia debido a la COVID-19.

3.2.6 Ética en la investigación

Las personas que participaron de la presente investigación, expresaron su consentimiento informado para utilizar la información derivada de la actividad, únicamente con fines académicos. Asimismo, la presente investigación garantiza el anonimato de los

participantes. Finalmente indicar que la información suministrada por los participantes está sujeta a la normatividad vigente en Colombia.

3.2.7 Procesamiento de la información

En este apartado se describen las consideraciones para el procesamiento y análisis de la información de la fase del experimento, que permite obtener el modelo cognitivo, a partir del experimento desarrollado con el juego de la cerveza, tomando como referencia el modelo INOUE (Inoue et al., 2012). Es preciso mencionar que esta actividad tuvo consecuencias en el diseño de la aplicación, que adicionalmente se nutrió de la actividad exploratoria, toda vez que permitió visionar la necesidad de incorporar un análisis cualitativo, estrechamente ligado con la actividad cognitiva, específicamente los protocolos verbales. A continuación, se describen las categorías de análisis y proceso seguido, para limpiar y analizar la información derivada del experimento, así como el ejercicio de codificación análisis y producción del modelo cognitivo.

3.2.7.1 Categorías de análisis

Para analizar la información derivada del experimento, se retoma el modelo INOUE (Inoue et al., 2012), con el cual se plantea las categorías y sub categorías de análisis con su respectiva descripción, las cuales se encuentran en la Tabla 1.

Es preciso señalar que después de hacer la codificación y en el proceso de análisis e interpretación de la información, se identificó una categoría que corresponde a una acción cognitiva llamada monitoreo. La categoría emergente, se ha incluido en la Tabla 1, toda vez que hace parte de la codificación, sin embargo, se precisa señalar que esta categoría no fue formulada a priori, sino que es resultado del análisis propio del experimento.

Finalmente indicar que las categorías “a priori” descritas en la Tabla 1, se han propuesto a partir del modelo INOUE, en un ejercicio que podría denominarse Nurses de transposición categorial, toda vez que el modelo de base es propuesto en el contexto de los controladores aéreos, mientras que aquí está en el contexto de la logística de transporte urbano.

Tabla 1. Categorías y subcategorías para la elaboración del modelo cognitivo.

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA (CÓDIGO)	DESCRIPCIÓN
Llamado.	Llamado.	Generar la alerta, que puede darse como recepción de orden de pedido.
Buscar Objetivo.	Buscar Objetivo.	Establecer las acciones óptimas, teniendo en cuenta las condiciones, para cumplir con el pedido.
Coincidencia de rutina.	Investigación de patrón básico.	Verificar si la situación es semejante a una anterior.

Información Adicional.	Información Adicional.	Requerir información adicional para establecer la acción a seguir.
Coincidencia de rutina de la estrategia y el método.	Percepción de parámetros.	Establecer las variables que se deben tener en cuenta para atender la demanda de la orden de pedido.
	Comprensión de la situación.	Tener la idea de lo que implica atender la orden de pedido.
	Proyección de situación futura.	Analizar las implicaciones y consecuencias de escenarios futuros de demanda de producto.
Decisión de Mando.	Decisión de Mando.	Concretar las decisiones.
Acción.	Acción.	Ejecutar las decisiones.
Pensamiento Basado en el Conocimiento.	Pensamiento Basado en el Conocimiento.	Formar en la mente, ideas o representaciones con base en un ejercicio cognitivo que implica su conocimiento.
Monitoreo*	Monitoreo.	Hacer una evaluación consciente del proceso que se está desarrollando.
*Categoría emergente después de la codificación de la participación de los entrevistados.		

Fuente. Los autores.

Tomando en consideración las categorías anteriormente descritas se procede a preparar la información, para su codificación y análisis tal como se describe a continuación.

3.2.7.2 Organización de la información

Inicialmente la información obtenida a través de video, audios e imágenes fotográficas del experimento, se organizó en carpetas; posteriormente, se tomaron los videos de cada uno de los participantes y se procedió a transcribir para luego procesar la información en el software MaxQDA y su posterior análisis, en la elaboración del modelo cognitivo. La Figura 7 muestra la secuencia en las actividades en campo.



Figura 7. Proceso seguido en la organización y procesamiento de la información.

Fuente: Autores.

Las condiciones bajo las cuales se realizó el experimento, a través de “el juego de la cerveza”, fueron las exigidas por la institución al momento de facilitar el espacio físico. Se utilizaron dos cámaras Logitech 920c conectadas cada una a un portátil MacBook mediante la aplicación libre OBS ® para grabar vídeo; dos celulares SmartPhone Xiaomi® para grabar los audios y como respaldo en la grabación, dos HandyCam de Sony® CX405.

En razón a que los participantes se encontraban cerca y que el juego debía desarrollarse en forma simultánea, con la participación de todos, en las grabaciones las voces quedaron mezcladas, sin embargo, se logran identificar cada una de ellas por el tono de voz.

La Figura 7 ilustra cada uno de los momentos seguidos en el experimento, la organización y digitación de la información, así como la codificación para su posterior análisis.

Para la organización y digitación de la información, se tomaron cada uno de los audios de los participantes y se procedió a transcribir, haciendo uso de Microsoft Word. Para la transcripción de la información, se tuvo presente las reglas que habitualmente se utilizan, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Simbología del método de Jefferson Gail, para realizar transcripciones.

SÍMBOLO	NOMBRE	USO
[texto]	Corchetes	Indica el principio y el final de solapamiento entre hablantes. Pienso que no [puedo] [no puedes] hacerlo.
=	Signo de igual	Indica un cambio de turno sin interrupción. Quiero decirte que= =que te tienes que marchar.
(# de segundos)	Pausa	Un número entre paréntesis indica la duración, en segundos, de una pausa en el habla. (0.3) (2.3).
(.)	Micro-pausa	Una pausa breve, normalmente menos que 0.2 segundos Quiero (.) decir.
. o ↓	Punto o flecha hacia abajo	Preceden a una bajada marcada de entonación.
? o ↑	Signo de interrogación o flecha hacia arriba.	Precede a una subida marcada de entonación.
,	Coma	Indica una subida o bajada temporal en la entonación.
-	Guion	Indica una finalización brusca o la interrupción brusca de una palabra o sonido. Claro-

>texto<	Símbolos de mayor que / menor que	Indica que el texto entre los símbolos se dijo de una forma más rápida de lo habitual para el hablante.
<texto>	Símbolos de menor que / mayor que	Indica que el texto entre los símbolos se dijo de una forma más lenta de lo habitual para el hablante.
°	Símbolo de graduación	Indica susurro o expresiones más silenciosas que el resto. Es que °no quería hacerlo°.
MAYÚSCULAS	Texto en mayúsculas	Indica grito o expresiones más sonoras que el resto.
<u>subrayado</u>	Texto subrayado	Indica palabras o partes de palabras que son acentuadas por el hablante.
:::	Dos puntos(s)	Indican la prolongación del sonido inmediatamente anterior. Fantás:::tico
(hhh)		Exhalación audible.
? o (.hhh)		Inhalación audible.
(texto)	Paréntesis	Fragmento incomprensible o del que se tienen dudas. Puede estar vacío o poner lo que se cree haber oído. Puede ir acompañado de especificación de tiempo. (no comprensible 3.4).
((<i>cursiva</i>))	Doble Paréntesis	Anotación de actividad no-verbal ((<i>sonríe mientras habla</i>)).
(x)		Duda o tartamudeo “Yo (x) yo creo que...”

Fuente. Elaborado por los autores con base en Bassi (2015) y Jefferson (1985).

El software seleccionado para la codificación y posterior análisis de la información, como ya se indicó, es MaxQDA. Esta aplicación se autoprocama como un software para el análisis de datos cualitativos y de investigación mixta, funcional en los sistemas operativos Windows® y OS® de Apple® (Rädiker & Kuckartz, 2020; VERBI-MaxQDA, 2021). La Figura 8 muestra parte de la codificación adelantada en la presente investigación, en el ambiente que ofrece MaxQDA.

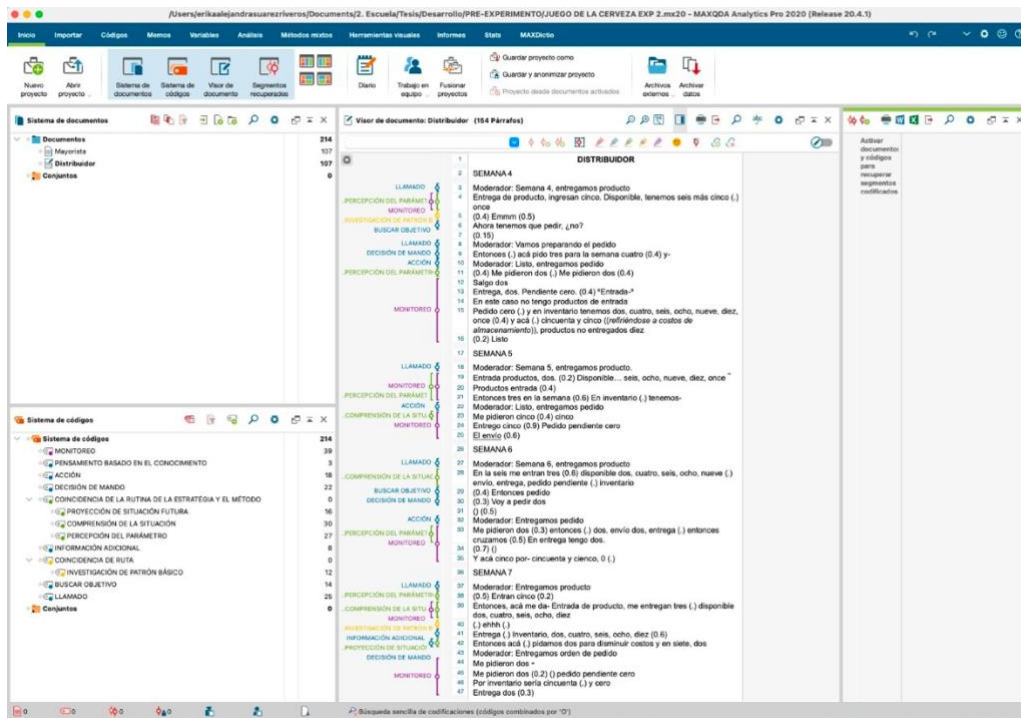


Figura 8. Pantallazo de la codificación hecha en la presente investigación con MaxQDA. Fuente. Los autores.

El software MaxQDA permite realizar varios tipos de procesamiento de información para ser analizada. Algunos de los reportes que permite la aplicación son: la Red de códigos en la que se puede establecer la relación entre ellas, una tabla de frecuencia de los códigos que muestra su recurrencia en el análisis global de los instrumentos o por cada uno, matriz de correlación de códigos que muestra cómo se comportan simultáneamente, de manera global o particular en algún documento, entre otras opciones para el análisis de los investigadores.

3.2.7.3 Construcción del modelo cognitivo

Una vez se consolida y codifica la información, se procede a analizarla de acuerdo a cómo se van desarrollando las actividades que expresan los entrevistados. En esta etapa es muy importante resaltar la conexión que hay entre lo expresado y la operación cognitiva, entendiendo que verbalizar las acciones al momento en que se van realizando, reduce la fracción de tiempo entre la operación cognitiva y la verbalización, permitiendo que prácticamente lo verbalizado corresponda con la operación cognitiva.

Adicionalmente, es preciso mencionar que se parte del modelo, siendo este el modelo INOUE (Inoue et al., 2012). Luego, a partir de las codificaciones y considerando de manera adicional la categoría emergente, se evalúa el comportamiento cognitivo de los participantes, en la simulación a partir del Juego de la Cerveza.

3.3 Toma de decisiones

Herbert Simón (1916-2001) fue uno de los economistas que planteó el estudio de la toma de decisiones en las organizaciones, considerando diferentes elementos. Adicional a lo anterior, tomando como argumento sus trabajos, participó de los grupos de estudio que dieron origen a la inteligencia artificial. Para Simón, la toma de decisiones está asociado a un esfuerzo que requiere una racionalidad y una cooperación entre quienes participan en la obligación o cumplimiento de una tarea de ejecutar (Simon, 1947, 1991).

Según Estrada-Gallego (2006), el proceso general de toma de decisiones de Simón se fundamenta en tres etapas: necesidad, diseño y elección. La *necesidad* presente en una situación que demanda tomar una decisión, el *diseño* como una actividad propia que conlleva ingeniar, desarrollar y analizar posibles cursos de acción, en relación con la decisión a tomar y *elección*, como la ruta particular de acción elegida de todas las posibles.

Para Chiavenato (2009) la toma de decisiones consiste en un proceso de *análisis* y *elección* para provocar una acción, la que de alguna manera nudista es la planteada por Simón. De otro lado, para Manley (1975) la toma de decisión corresponde con un curso de *acción* elegido por quien decide, como el medio óptimo para alcanzar el objetivo, en pro de resolver un problema.

En el desarrollo de las tecnologías emergentes orientadas a la automatización de procesos y procedimientos, la toma de decisiones en forma autónoma y local, la industria 4.0 se configura en uno de los elementos que hacen parte del proceso de comprensión de los diversos desarrollos. La toma de decisiones puede alcanzar un nivel en el desarrollo autónomo de la logística de producción (Zhang et al., 2018).

La toma de decisiones es entonces un elemento estructural en el desarrollo de las tecnologías emergentes que están presentes en “las fabricas inteligentes”, por lo que es necesario considerarlas en la construcción de un modelo cognitivo.

3.4 Modelo cognitivo Inoue

Inoue y sus colegas (2012) estudiaron el ejercicio cognitivo que los controladores aéreos desarrollaban en la actividad de ejecución de sus tareas, en pro de contribuir con una solución que aportara una comprensión estructurada del conocimiento, fundamentada en relaciones lógicas. La contribución tenía como reto, entre otros, proveer una técnica de gestión de conocimiento orientada al estudio de los problemas relacionados con el factor humano en los sistemas de control de tráfico aéreo.

Para aproximarse a comprender los procesos cognitivos de los controladores aéreos, Inoue y sus colegas (2012) diseñaron un experimento, en el que los controladores aéreos interactuaban con una simulación, por un tiempo de 60 minutos, tiempo en el cual tenían que desarrollar las tareas necesarias para organizar la actividad de 75 aeronaves. La simulación, que utilizaron se fundamentó en la noción de los sistemas y el entorno físico

con una cognición distribuida, en el entendido que debía analizarse los procesos de los múltiples actores, a través de la mediación tecnológica.

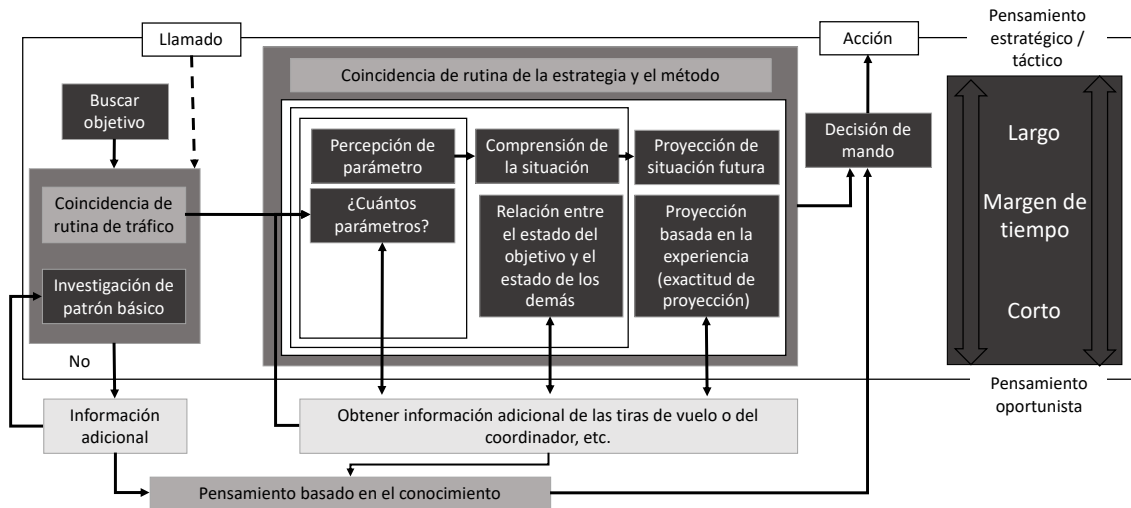


Figura 9. Modelo cognitivo de controladores de tráfico aéreo.
Fuente: Los autores traducido a partir de Inoue, et al (2012).

Según el resultado del experimento, los autores proponen un modelo al que llaman Inoue, descrito en la Figura 9 que inicia con el llamado recibido por el controlador, impulsando la búsqueda del objetivo, del cual surge la consulta de una conciencia de rutina de tráfico, es decir, la investigación de un patrón básico que haya sido ejecutado anteriormente.

Si el controlador no encuentra una rutina coincidente, hace la consulta de información adicional y vuelve a evaluar el caso; si definitivamente no encuentra una rutina concurrente, ingresa a una categoría denominada “pensamiento basado en el conocimiento”, donde según su propia experiencia y no de rutinas conocidas, determina la mejor decisión, pasando a la acción.

En caso que el controlador encuentre una rutina coincidente de tráfico, ingresa a una categoría global denominada “coincidencia de rutina de la estrategia y el método”, para ejecutar la actividad cognitiva “comprensión de la situación”, pasando a la “proyección de situación futura” y en consecuencia a la “decisión de mando”, finalizando con la acción.

En algunos casos, al llegar a la “comprensión de la situación”, la ruta cognitiva le implica al controlador aéreo el desplazamiento cognitivo a la “consulta de información adicional”, para volver a la “comprensión de la situación” y avanzar en la rutina antes descrita.

Siendo el modelo cognitivo Inoue consecuencia de un análisis de las interacciones cognitivas de los controladores aéreos con el sistema de simulación, entonces se puede establecer la conformación de un sistema Ciberfísico con interacción humana.

3.5 El juego de la cerveza

Luego de ejecutar en tres grupos diferentes el experimento del juego de la cerveza, se decidió trabajar con el segundo de ellos, ya que hubo mayor participación de los estudiantes con el uso de los protocolos verbales, lo cual generó más información, para la construcción de los modelos cognitivos. De los cuatro participantes del juego de la cerveza con los roles de fabricante, distribuidor, mayorista y minorista, se descarta el modelo cognitivo del fabricante, pues contaba con materia prima ilimitada, lo que hizo que sus decisiones no tuvieran variables tan importantes, en comparación con los otros 3 eslabones.

3.5.1 Análisis de la información cualitativa orientada a la construcción del modelo cognitivo

Una vez ejecutado el experimento, realizada la transcripción según la metodología y clasificada la información obtenida de las grabaciones, en búsqueda de ejemplificar la categorización de la información transcrita, basados en el modelo Inoue y la Tabla 1, se toma lo expresado por el mayorista en la semana 6, clasificado como se ve en la Figura 10.

Categoría	Texto
SEMANA 6	25
LLAMADO	26 Moderador: Semana 6, entregamos producto
LLAMADO	27 Tengo tres (0.12)
LLAMADO	28 Entonces, entraron cinco, tendría disponible (.) nueve (0.4) si y ya (0.6)
PERCEPCIÓN DEL PARÁMETRO	29 Bueno, pues ahora otra vez tengo bastantes (.) yo creo que voy a pedir dos otra vez (-) porque igual el minorista esta haciendo pedidos medio bajitos, nunca es muy alto (0.3) semana- pues, hasta ahora (.) semana seis
COMPRENSIÓN DE LA SITUACIÓN	30 Moderador: Entregamos orden de pedido
COMPRENSIÓN DE LA SITUACIÓN	31 (0.5) entonces tres (0.6) pendiente cero (.) inventario::o seis (0.5) y yo pedí dos (0.11)
COMPRENSIÓN DE LA SITUACIÓN	32Cuál es (.) ah sí, el inventario treinta, cero (0.15)

Figura 10. Clasificación de las categorías en MAXQDA - Distribuidor en la semana 6.
Fuente: Autores.

A lo largo de todas las semanas se determinó que el *Llamado*, es el momento inicial en el que el Moderador da la indicación de entregar el producto despachado en la semana anterior; una vez hecho este movimiento en los tableros del juego, el participante da inicio al proceso de toma de decisiones para el siguiente pedido.

Inmediatamente después de recibir el *Llamado*, el participante implícitamente está haciendo una *Búsqueda de objetivo* que lo llevará a la decisión final. Teniendo en cuenta el *Llamado* y la *Búsqueda de objetivo*, el participante hace una *Investigación de patrón*, para determinar si esta situación ya se había presentado con anterioridad y determinar la existencia de una coincidencia de rutina. En el caso de la semana 6 del distribuidor, el participante encontró que había una rutina e hizo *Percepción del parámetro*, analizando su inventario, luego hizo *Comprensión de la situación* al darse cuenta de que el Minorista está haciendo pedidos más bajos, posteriormente hace *Proyección de la situación futura*, en la que determina que no va a llegar un pedido muy grande, dada la tendencia de su cliente. Finalmente, toma una *Decisión de mando*, al escribir su orden de pedido y ejecuta la *Acción*, cuando el moderador del experimento solicita hacer entrega de esa orden de pedido a su proveedor.

	76	SEMANA 10
LLAMADO	77	Moderado: Iniciamos semana 10, entregamos producto
	78	No No sea tan absurdo
..INVESTIGACIÓN DE PATRÓN	79	Entonces acá, uno (0.3) (desabastecimiento total)
BUSCAR OBJETIVO	80	Disponible uno (.) envío, entrega, pedido pendiente, inventario (0.8)
..PERCEPCIÓN DEL PARÁMET	81	Pedido ya- (.)
PENSAMIENTO BASADO EN E	82	>Había pedido quince antes, entonces creo que sí es necesario pedir más (.) porque me está requiriendo más pedido <
..COMPRENSIÓN DE LA SITUAC	83	>Entonces vamos a pedir diez para, la semana diez < (0.3)
DECISIÓN DE MANDO	84	Entonces, acá pedido diez (0.14)
ACCIÓN	85	Moderador: Entregamos orden de pedido.
	86	Entonces (.) juepucha me pidieron siete (0.7)
	87	Pedido siete (0.6) Sie:::te (0.4)
	88	>Ah no, mentiras, acá yo pedí diez<
MONITOREO	89	En inventario tengo (.) cero (0.3) En entrega uno (.) Pedido pendiente, seis (0.3) y en envío uno
	90	Para el costo tenemos cinco, por inventario cero y:::y por productos no entregamos tenemos diez por seis, sesenta (.)
	91	Para un costo total de sesenta -

Figura 11. Clasificación de las categorías en MAXQDA - Distribuidor en la semana 10.
Fuente: Autores.

Para simplificar el uso de la categoría *Pensamiento basado en el conocimiento*, se toma de ejemplo la semana 10 del Distribuidor (Figura 11), en la que después de hacer una *Percepción del parámetro* y *Comprensión de la situación*, se toma una pausa para volver a analizar y en la línea 82, recurre a sus conocimientos y su experiencia para asumir, con algo de duda, una decisión que no está contemplada dentro de sus rutinas.

Con la herramienta MAXQDA se puede visualizar el uso de las categorías por cada participante y en su totalidad, como se ve en la Figura 12, donde las categorías de *Monitoreo*, *Llamado*, *Acción* y *Decisión de mando* reportan 36 veces de uso cada una, pues son constantes y se ejecutan una vez por cada una de las doce semanas evaluadas de los tres participantes. Una de las categorías menos utilizadas dentro del experimento fue el *Pensamiento basado en el conocimiento*, lo que da a entender que la mayoría de las decisiones fueron tomadas al encontrar una coincidencia de rutina. Se resalta el uso de 35 veces la categoría global de *Coincidencia de rutina*, donde están contenidas la *Proyección*, *Comprensión* y *Percepción*. Teniendo en cuenta que fueron 36 semanas evaluadas, se puede asumir que se usó en la mayoría de las semanas y procesos de toma de decisiones. Una situación similar ocurre con la *Comprensión de la situación*, la cual se usó 33 veces y la *Proyección de la situación futura* utilizada en menor medida, con 26 clasificaciones.

Sistema de códigos	Minorista	Mayorista	Distribuidor	SUMA
MONITOREO	12	12	12	36
PENSAMIENTO BASADO EN EL CONOC	5	3	5	13
ACCIÓN	11	11	10	32
DECISIÓN DE MANDO	11	11	10	32
COINCIDENCIA DE LA RUTINA DE LA E				0
PROYECCIÓN DE SITUACIÓN FUTU	11	9	5	25
COMPRENSIÓN DE LA SITUACIÓN	10	9	11	30
PERCEPCIÓN DEL PARÁMETRO	10	12	12	34
INFORMACIÓN ADICIONAL				0
COINCIDENCIA DE RUTA				0
INVESTIGACIÓN DE PATRÓN BÁSIC	12	12	12	36
BUSCAR OBJETIVO	12	12	12	36
LLAMADO	12	12	12	36
SUMA	106	103	101	310

Figura 12. Uso de las categorías por cada participante del experimento en MAXQDA.
Fuente: Autores.

Inicialmente se había hecho uso de la categoría *Información adicional* dentro de la clasificación de las categorías, pero luego de hacer un análisis más profundo de los vídeos, se determinó que los participantes hacen uso constante de esta categoría, mediante las hojas de registro de información y el panorama general de los tableros de juegos, por lo que resulta redundante y poco práctico categorizar cada uno de sus usos.

Los participantes del experimento que mayor uso le dieron al *Pensamiento basado en el conocimiento* fueron el Minorista y el Distribuidor, los cuales pasaron por esta categoría cinco veces cada uno, mientras que el Mayorista solamente lo hizo tres veces. A pesar de estar dentro de la bolsa de *Coincidencia rutina de la estrategia y el método*, la *Proyección de la situación futura*, no fue igualmente utilizada como la *Comprensión* y la *Percepción*, el Minorista fue el que mayor uso hizo de la *Proyección*, mientras que el Distribuidor solamente llegó a esta categoría 5 veces, a pesar de que en las doce semanas hizo *Comprensión de la situación*.

Las conexiones entre los códigos o categorías nombrados pueden verse en la Figura 13. Esta figura dejó por fuera aquellos puentes entre categorías que se hicieron menos de 8 veces. El grosor de las líneas representa mayor número de conexiones entre las dos categorías, por lo tanto, es coherente que, entre *Búsqueda de objetivo*, *Investigación de patrón básico* y *Percepción de parámetros* existan fuertes conexiones, pues éstas se repiten durante todas las semanas. De la figura generada por MAXQDA también se puede observar cuáles categorías se conectan directamente a *Pensamiento basado en el conocimiento*, denotando que, desde *Comprensión de la situación* y *Proyección de la situación futura*, los participantes determinaron la no existencia de una rutina para la situación y requirieron hacer uso de su conocimiento. Las conexiones entre las diferentes categorías reflejan las que deben darse en el modelo cognitivo desarrollado más adelante.

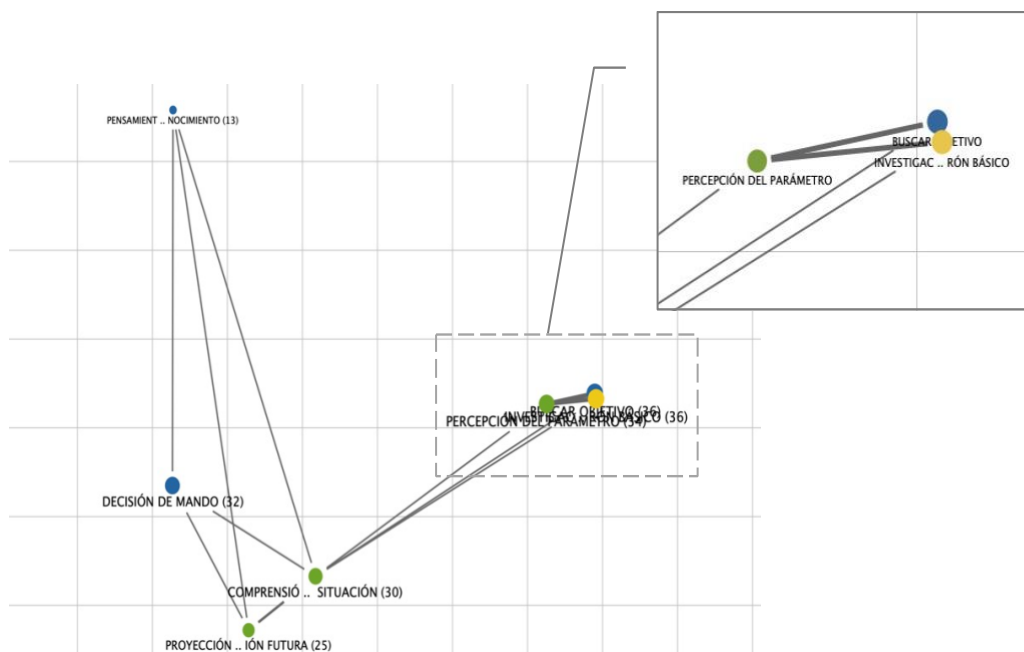


Figura 13. Conexiones entre categorías según MAXQDA.
Fuente: Autores.

Dentro del estudio de la información del experimento, se determinó la existencia de un análisis posterior a la *Acción* y antes de iniciar una nueva semana con un nuevo *Llamado*, donde el participante hace una evaluación consciente de su decisión y las consecuencias; para hacer la clasificación de este proceso cognitivo adicional no contemplado en el modelo original, se crea una nueva categoría llamada *Monitoreo*.

3.6 Construcción del modelo cognitivo

Teniendo toda la información estudiada y las transcripciones clasificadas en las categorías, se procedió a hacer la modificación del modelo cognitivo por cada semana y por cada controlador, tomando como base el modelo cognitivo de Inoue de 2012, en su versión en español. Como las tres primeras semanas del experimento fueron de acoplamiento a la actividad, el modelo cognitivo resultante de estas no ingresa a la Conciencia situacional, sino que directamente hace un *Pensamiento basado en el conocimiento*, generando nuevas rutinas que sirven de base, de la semana cuatro en adelante.

Por cada participante del juego de la cerveza surgieron 11 modelos cognitivos, uno por semana, dejando de lado las 3 primeras que funcionaron como ajuste al experimento, y un modelo cognitivo final. Aunque cada semana tiene un comportamiento particular, al unir los modelos de las 12 semanas, el resultado final es igual para los 3 participantes (Figura 14). Aunque esquemáticamente se vean igual, a continuación se describe cómo cada uno de los participantes hizo mayor uso de algunas categorías que de otras y su pensamiento fue diferente.

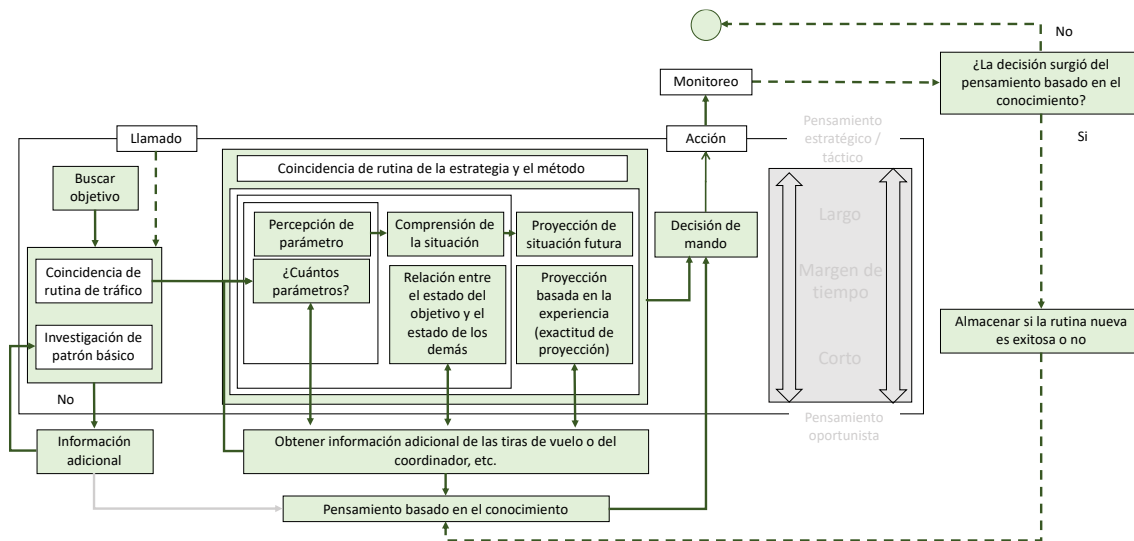


Figura 14. Modelo cognitivo modificado.

Fuente: Autores.

3.6.1 Modelo cognitivo del Distribuidor

La evolución del modelo cognitivo del distribuidor se refleja en la Figura 15 y en el Anexo 2, se puede encontrar las semanas completas y el modelo final. En la semana cuatro el distribuidor ingresa a la conciencia situacional, pero únicamente hace uso del componente percepción de los parámetros y sin hacer mucho análisis de la situación, toma directamente una decisión de mando, dado que encuentra una rutina cognitiva ya establecida para esta situación. En la semana 7, encuentra una coincidencia de rutina e ingresa a la conciencia situacional, pero solamente en los dos primeros componentes. En este punto, el distribuidor se da cuenta que no tiene una rutina establecida para esta situación y recurre a su conocimiento y experiencia para tomar la decisión. Durante estas dos semanas y en todas las estudiadas en el experimento, se ubicó el monitoreo fuera del recuadro del modelo cognitivo de toma de decisiones, ya que éste se ejecuta cuando la acción ya se ha dado, lo que no afecta la decisión ya tomada y el proceso mental que lo llevó a ésta.

En el caso particular de la semana 7 y como parte de la innovación al modelo original, se logró evidenciar que dentro del monitoreo por parte del distribuidor, se estudiaba las consecuencias de su decisión, específicamente porque fue basada en su conocimiento y no en una rutina ya establecida. Teniendo esto en cuenta, se añadió un flujo que permite hacer la evaluación de las consecuencias, positivas o negativas, y en razón a esta decisión, las almacena para crear una nueva rutina.

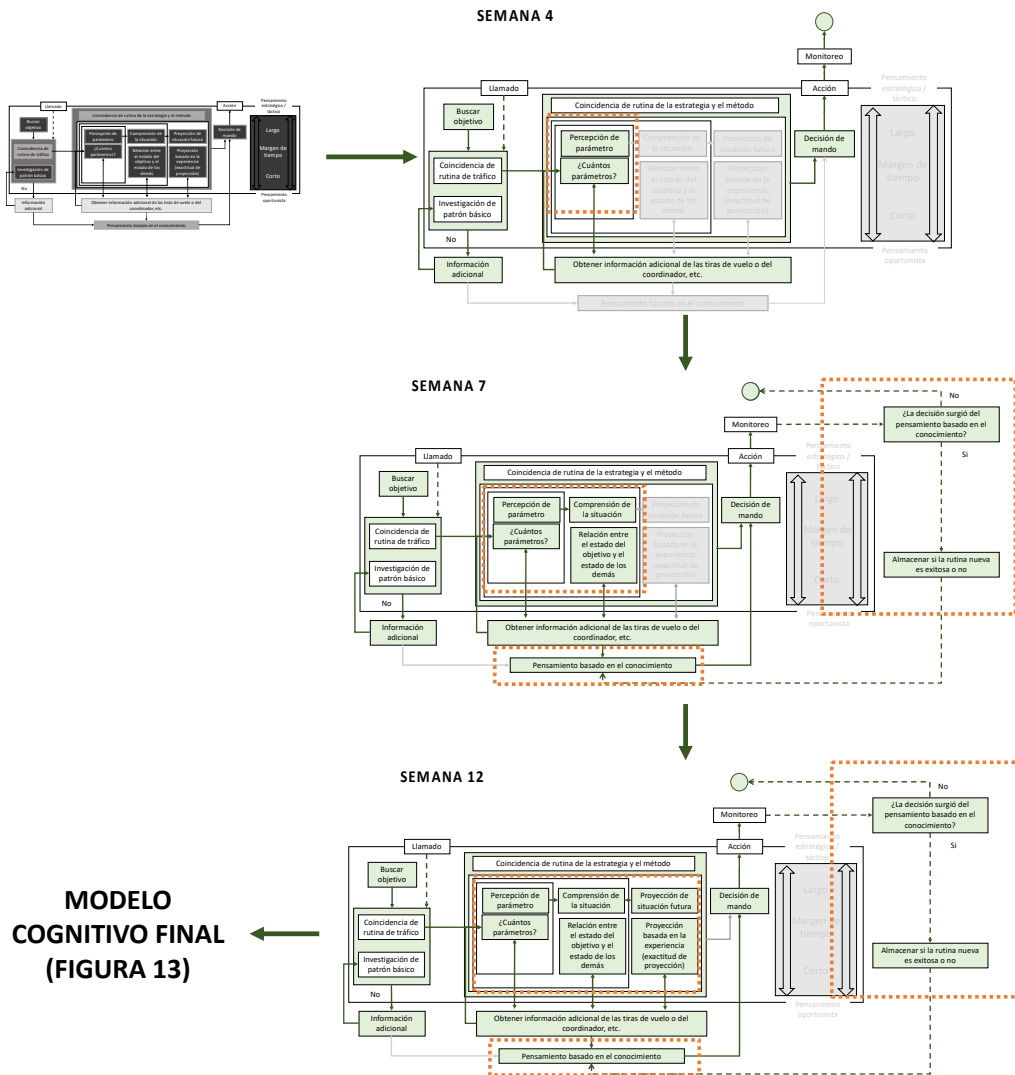


Figura 15. Evolución modelo cognitivo del Distribuidor.
Fuente: Autores.

Dentro de la ejecución de la conciencia situacional, el distribuidor ingresó solamente 5 semanas a *Proyección de la situación futura* e igualmente, fue el que mayor cantidad de veces hizo uso del pensamiento basado en su conocimiento. Es de resaltar que, durante la ejecución del experimento, fue el participante más nervioso y quien dio a conocer que ya había jugado el juego de la cerveza con anterioridad, pero no con mucha frecuencia.

Las dos primeras semanas toma decisiones, solamente ejecutando la *Percepción de los parámetros*. Durante la semana 14, además de esta categoría, toma la decisión de ejecutar la *Comprensión de la situación*. Mientras que en las semanas 7, 9 y 10 hace uso de la *Comprensión de la situación*, pero al no encontrar una conciencia de rutina, se dirige al *Pensamiento basado en el conocimiento*. En las semanas 8 y 11 hace el recorrido completo de los 3 componentes de la conciencia situacional y toma una decisión, encontrando una coincidencia de rutina. Finalmente, en las semanas 12 y 13, si bien hace

el recorrido por *Percepción, Comprensión y Proyección*, al llegar a esta última, reconoce que no hay una coincidencia de rutina y toma una decisión *basada en su conocimiento*.

3.6.2 Modelo cognitivo del Mayorista

Para el caso del Mayorista, en la Figura 16 se ve el esquema de evolución de su modelo cognitivo semana a semana de forma resumida y en el Anexo 3 con mayor detalle. A diferencia del Distribuidor y el Minorista, este participante en el eslabón de la cadena que hizo menor uso del *Pensamiento basado en su conocimiento*. Antes de iniciar la ejecución del experimento, dijo que había jugado el Juego de la cerveza recientemente en clase y durante el desarrollo del juego y su cierre, se evidenció que comprendía el funcionamiento del juego y el rol de cada integrante dentro de la cadena.

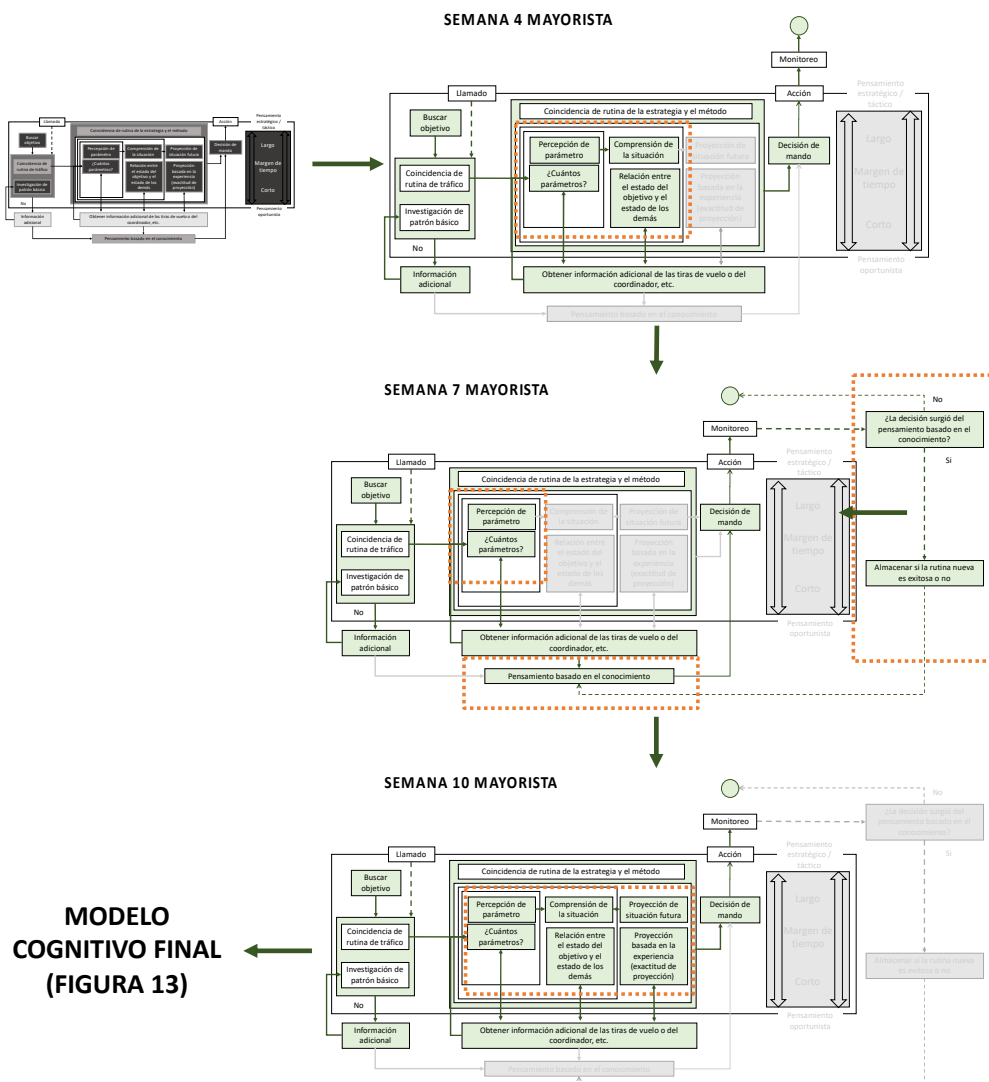


Figura 16. Evolución modelo cognitivo del Mayorista
Fuente: Autores.

Durante cada semana, el Mayorista luego de hacer la *Búsqueda del objetivo* y de la *Coincidencia de rutina*, ejecutó en todas ellas la *Percepción del parámetro*, de las cuales 9 veces ingreso a *Comprensión de la situación* y *Proyección de la situación futura*.

Con el análisis hecho de los dos primeros componentes de la conciencia situacional, tomó su decisión en la semana 4, mientras que en las semanas 5, 6, 8, 10, 11, 12 y 14 acudió a la *Percepción*, *Comprensión* y *Proyección*. En las semanas 7 y 9, luego de *Investigar el patrón básico*, ingresó a *Percepción del parámetro*, pero allí determinó que no tenía una rutina establecida e ingresó al *Pensamiento basado en el conocimiento*, para tomar su decisión. Finalmente, en la semana 13 ingresó por una *Coincidencia de rutina* a *Percepción* y *Comprensión*, pero de allí conectó a *Pensamiento basado en el conocimiento*, pues se enfrenta a una situación que no conocía con anterioridad.

Durante el desarrollo de la mayor parte de las semanas, el Mayorista se notó más confiado en comparación con el Distribuidor, aun así, la mayor dificultad se notó en la semana 13, donde es más clara la necesidad de hacer uso de su *pensamiento basado en el conocimiento*.

3.6.3 Modelo cognitivo del Minorista

En la Figura 17 se ve la evolución general de los modelos cognitivos semanales del minorista, quién fue el que hizo mayor proyección de la situación futura e igualó en el número de veces que hizo uso del pensamiento basada en el conocimiento al Distribuidor, con 5.

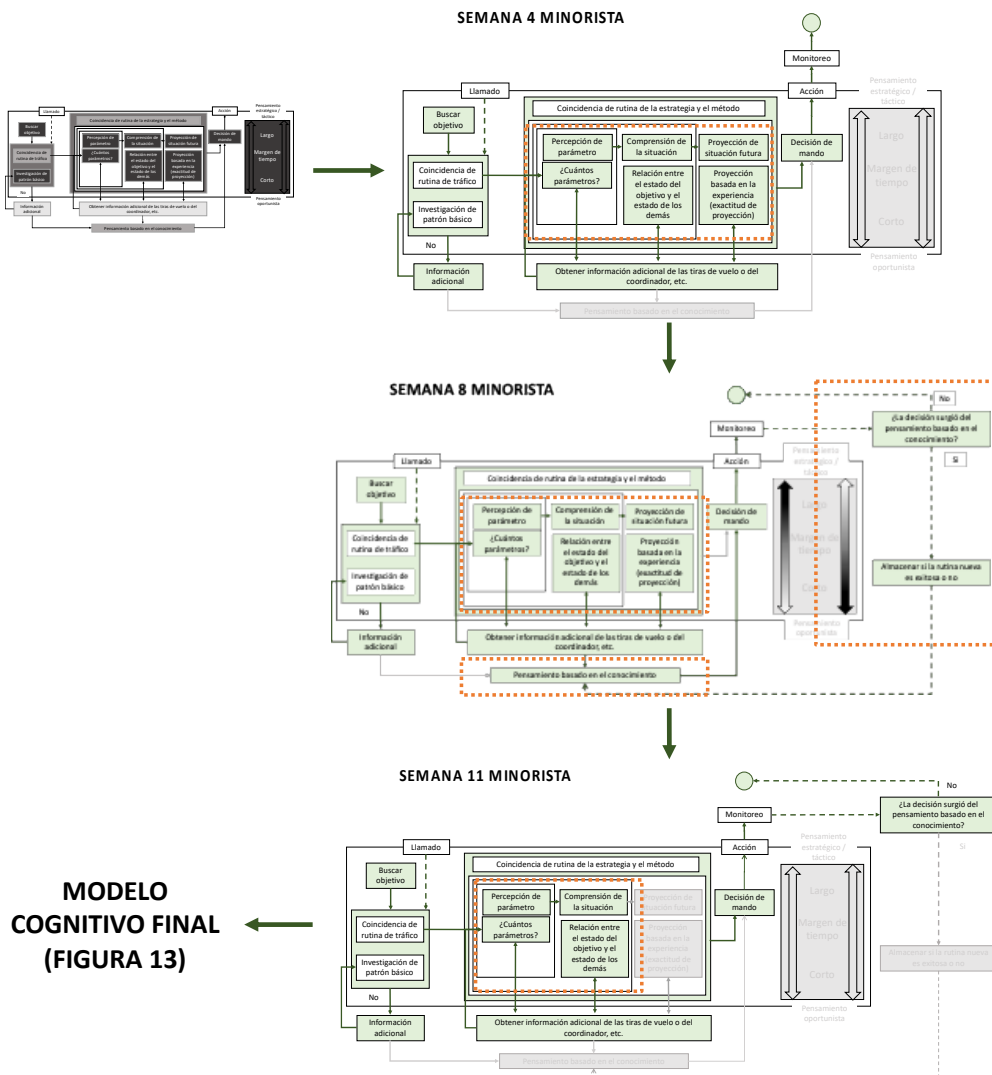


Figura 17. Evolución modelo cognitivo del Minorista.
Fuente: Autores.

A lo largo del experimento, los modelos cognitivos del Minorista fueron los que sufrieron menor variación semana a semana, en comparación con el Mayorista y el Distribuidor, dado que, al hacer uso de la *Conciencia situacional*, fue muy constante al ejecutar de forma consecutiva la *Percepción*, *Comprensión* y *Proyección* antes de tomar una decisión. Por ejemplo, en las semanas 4, 5, 6, 7, 11 y 13, luego de hacer la *Búsqueda del objetivo* y la *Investigación de un patrón básico*, ejecutó completamente la *Coincidencia de la rutina estratégica y el método*, que es la que contiene los 3 componentes de la conciencia situacional, mientras que únicamente en la semana 11, tomó una decisión sin hacer *Proyección de la situación futura*.

3.7 Resumen

En este capítulo se logra proponer un modelo cognitivo modificado, que está basado en el de Inoue en 2021, teniendo en cuenta las decisiones y el proceso cognitivo de los participantes del Juego de la cerveza, donde cumplen roles dentro de la cadena de suministro y sus decisiones impactan de forma directa. El modelo resultante, resalta por la creación de una nueva categoría denominada Monitoreo, donde luego de una decisión basada en el conocimiento, los participantes evaluaban las consecuencias de su decisión para nutrir la base de conocimiento y crear una nueva rutina.

Capítulo 4. Plataforma de simulación de distribución logística urbana basada en la arquitectura CPLS

4.1 Introducción

El diseño y desarrollo de la plataforma H-CPLS, implicó aproximarse a la ingeniería de software, para identificar una metodología que orientara su diseño. A continuación se describe la metodología utilizada, así como, en general, el proceso adelantado y su funcionamiento.

4.2 Metodología

De acuerdo con James Highsmith (2005), la metodología para el diseño y desarrollo de software Adaptive Software Development (ASD), tiene su mayor fundamento en sistemas adaptativos complejos. La metodología ASD se identifica como una metodología ágil (Navarro-Cadavid et al., 2013), entendiéndose que orienta el proyecto y las interacciones, con el equipo de desarrollo, minimiza el modelado y la documentación del sistema y guarda estrecha relación entre el objeto de la aplicación en coherencia, con la presente investigación.

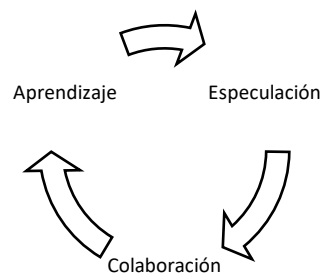


Figura 18. Ciclo de la metodología Adaptive Software de Development.
Fuente. Tutorials Point (2019)

Para el diseño y desarrollo de la aplicación se tienen en cuenta tres fases: la especulación, la colaboración y el aprendizaje, como se indica en la Figura 18. Las tres fases se enmarcan dentro de un ciclo de vida, en el que la interacción entre el equipo desarrollador, el cliente y el saber inmerso dentro de la aplicación, se constituyen en la mayor riqueza de la metodología. Para el caso particular de la investigación, la interacción entre los investigadores los directores y las necesidades particulares del proyecto.

Las fases, mostradas en la Figura 18, significan:

- **Especulación.** Se orienta a una planificación de especificaciones de productos o tareas en forma dinámica entre el cliente, el desarrollador y el saber necesario en la aplicación, de alguna manera, reemplaza la rigidez que se presenta en otras metodologías de software, cuando se habla de planificación.
- **Colaboración.** Parte de una interacción activa entre el cliente y el desarrollador, en busca de obtener los mejores resultados en el desarrollo de la aplicación; en este sentido, marca un equilibrio entre la gestión y creación de la aplicación manteniendo un ambiente colaborativo cliente-desarrollador. Esta interacción se

mantiene, en forma adaptativa, el producto de software a la medida en que se presentan los cambios y necesidades.

- **Aprender.** Esta fase, entendiendo que hay una interacción cliente-desarrollador, está orientada a que como resultado de las fases anteriores, se utilicen dichos conocimientos para enfocar la dirección del siguiente ciclo o paso a seguir en la aplicación.

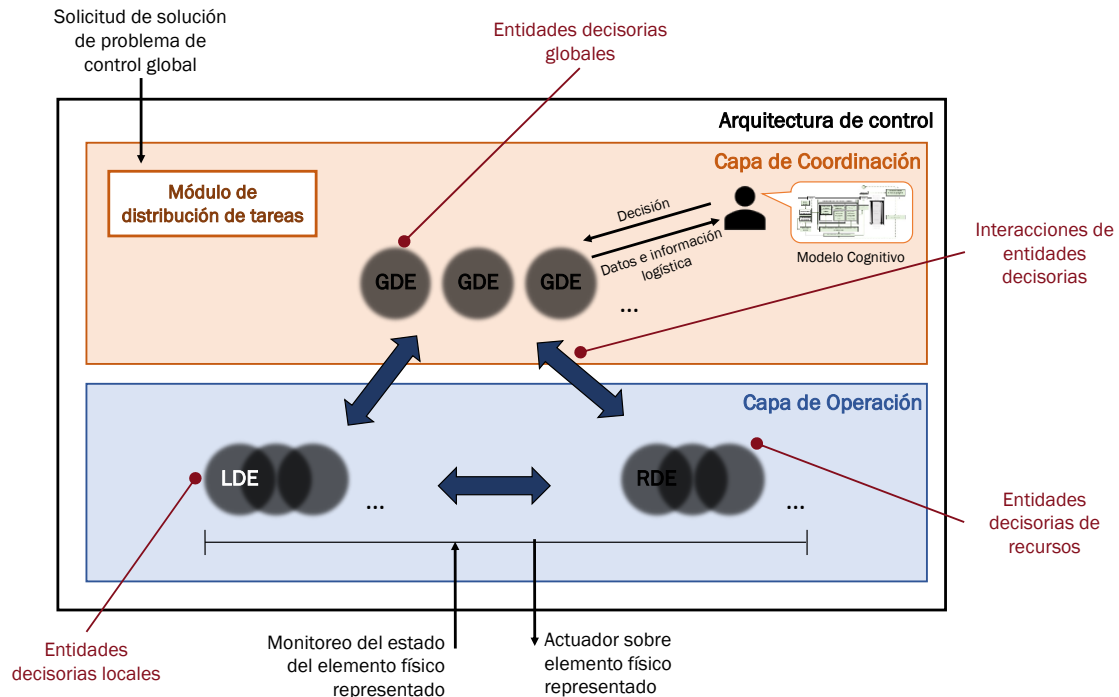


Figura 19. Ilustración general de la arquitectura de control.
Fuente: Adaptado de Jimenez, 2017.

En la Figura 19 se esboza una parte inicial de la fase de especulación, y parte del análisis de referencia del Human Cyber Physical System (H-CPS), identificando el controlador, en un sistema que se basa en un modelo de decisión que integra las capas global, local y física. Se esboza la arquitectura de control para el sistema. Esta arquitectura consta de dos capas, la de coordinación de tareas y organización de las entidades decisorias y la operativa, que posteriormente ejecuta el sistema de control. La capa de coordinación alberga un GDE o un conjunto de GDE; la capa de operación aloja los LDE y RDE que, guiados por GDE, ayudan a completar las tareas divididas del problema de control global (Jimenez, 2017).

Hay tres tipos de entidades de decisión que comprenden la arquitectura de control: entidades de decisión locales (LDE), que representan la entidad que tiene una actividad por completar, en este caso, los productos a ser entregados; entidades de decisión de recursos (RDE), que gestionan los recursos orientados al servicio, ubicados en el sistema controlado; lleva a cabo la solicitud realizada por los LDE y apoya al sistema controlado, en el cumplimiento del objetivo, por ejemplo los vehículos; finalmente las entidades de

decisión global (GDE), son aquellas que, específicamente, colaboran en la finalización del problema de control global, apoyando la coordinación de actividades y asegurando el logro de los objetivos globales (Jimenez, 2017).

Adicionalmente, como se observa en la Figura 20 en los GDE interactúa un humano que captura información y ejecuta el modelo cognitivo de toma de decisiones propuesto en esta investigación. Finalmente, el humano retorna a los GDE, las decisiones para ejecutar la acción.

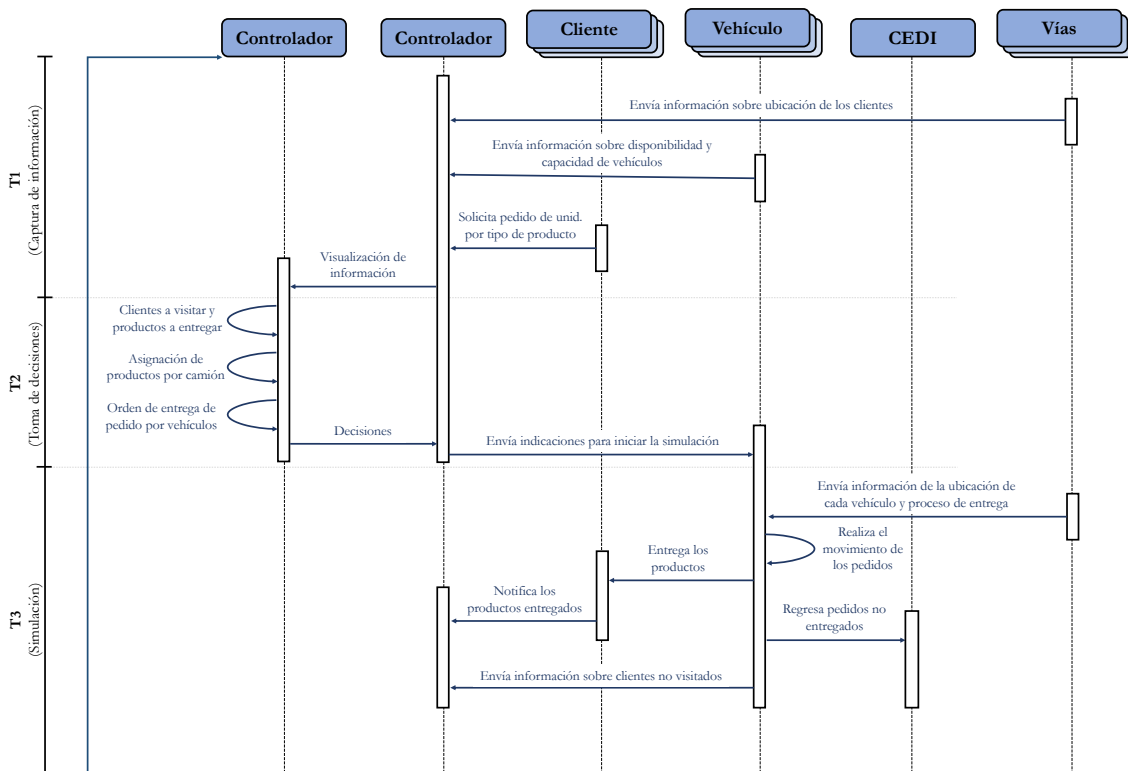


Figura 20. Diagrama de actividades

Fuente: Autores.

La Figura 20 muestra el diagrama de actividades en el que se identifica el controlador, el cliente como el vehículo y los otros elementos que interactúan en las actividades propias de la logística de distribución terrestre. En este diagrama, adicionalmente se identifican tres capas, la primera referida a la captura de información, la segunda a la toma de decisiones y la tercera a la simulación.

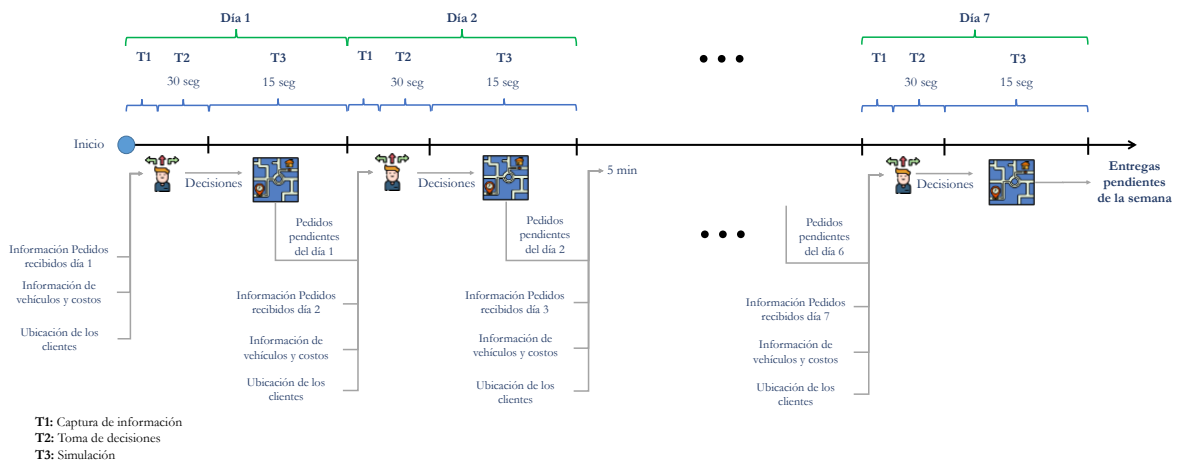


Figura 21. Diagrama operativo de la distribución logística.
 Fuente: Autores.

La Figura 21 muestra el esquema operativo de funcionamiento, en el día a día, del diagrama de actividades configurado en la Figura. 21. En esta figura, se identifica cómo el controlador, basado en la toma de decisiones, el H-CPS, mantiene en funcionamiento el sistema.

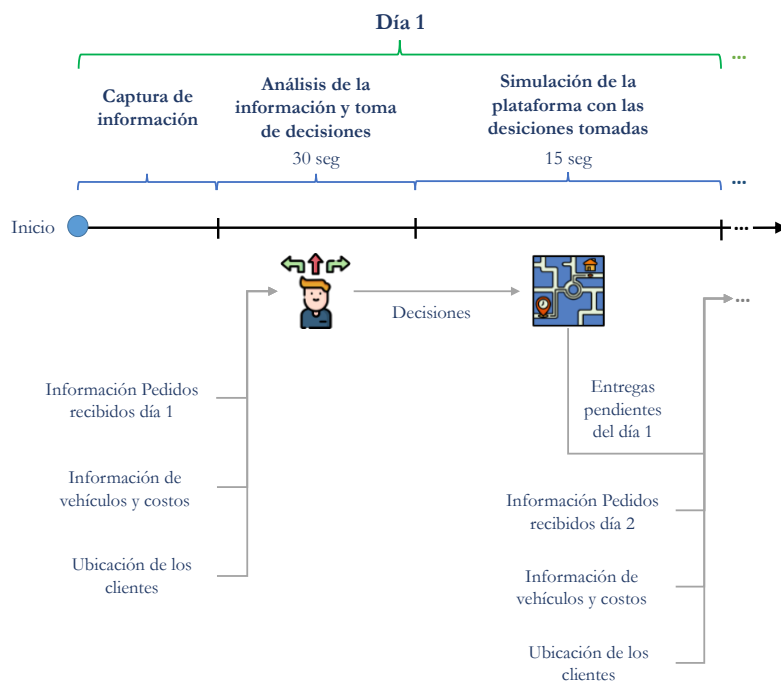


Figura 22. Sistema operativo de un día.
 Fuente: Autores.

La Figura 22 muestra cómo funciona un día en el sistema. Inicialmente el controlador captura la información, procede a su análisis y toma decisiones, que, junto con la simulación, procede a procesar.

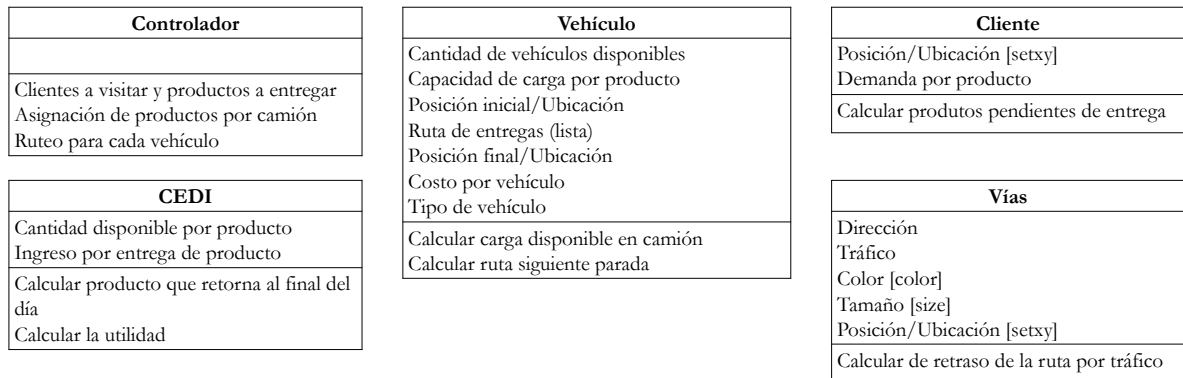


Figura 23. Diagrama de Clases de la plataforma H-CPLS.

Fuente: Autores.

En la Figura 23 se muestran las clases que fundamentaron el desarrollo de la aplicación. Estas son: controlador, vehículo, cliente, vías y CEDI. Una vez definida las clases, se procede al desarrollo, no sin antes mencionar la interacción intensiva que conllevó el trabajo en grupo y que contribuyó en un aprendizaje permanente en el desarrollo propuesto.

4.2.1 Desarrollo de la aplicación

Para el desarrollo de la aplicación se seleccionó NetLogo, plataforma que ha sido utilizada en simulaciones basada en agentes (Jimenez-Romero et al., 2020; Larrosa, 2012).

NetLogo, es entendido como un ambiente de programación, que permite modelar sistemas complejos que se adaptan en el tiempo; adicionalmente, NetLogo se basa en agentes que pueden recibir instrucciones y operar en forma independiente (Quesada-Chaverri, 2018), permitiendo observar los comportamientos de los individuos (en un nivel micro) y los patrones que surgen de su interacción (en un nivel macro).

La plataforma NetLogo, como se observa en la Figura 24, permite ser ejecutado desde los navegadores en forma Online, o también trae un ambiente de trabajo multiplataforma, es decir, corre en los sistemas operativos Windows®, OS® y Linux® y su descarga es totalmente gratuita.

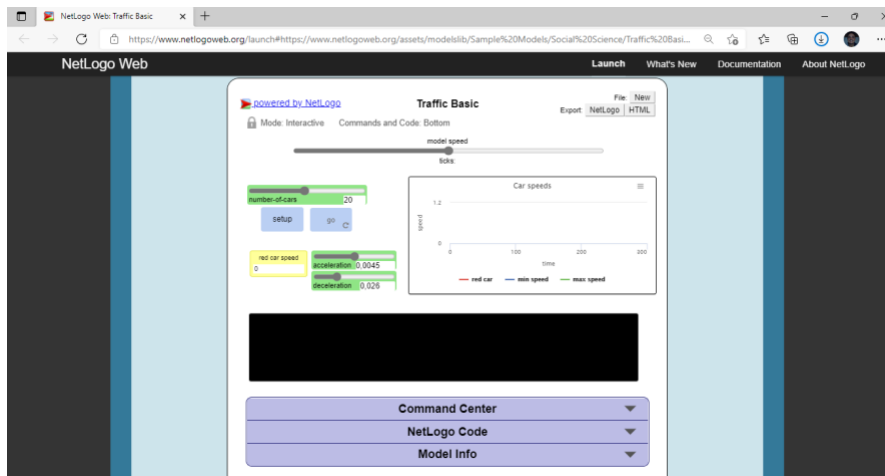


Figura 24. Netlogo Web

Fuente: Autores.

Entre sus características se encuentra:

Programación:

- Sintaxis accesible.
- Totalmente programable.
- Lenguaje es Logo extendido a los agentes de soporte.
- Los agentes móviles (tortugas) se mueven sobre una grilla de agentes estacionarios (parcelas).
- Los agentes de enlace conectan las tortugas para crear redes, gráficos y agregados.
- Gran vocabulario de primitivas incorporado (lenguaje nativo).
- Matemáticas de punto flotante de doble precisión.
- Valores de función de primera clase (también conocidos como procedimientos anónimos, cierres, lambda).
- Las ejecuciones (corridas) son reproducibles multiplataforma.

Ambiente

- Centro de comando para la interacción sobre la marcha.
- Constructor de interfaz con botones, controles deslizantes, interruptores, selectores, monitores, cuadros de texto, notas, área de salida.
- Pestaña de información para anotaciones de su modelo con texto e imágenes formateadas.
- HubNet: simulaciones participativas utilizando dispositivos en red.
- Monitores de agente para inspeccionar y controlar agentes.
- Exportar e importar funciones (exportar datos, guardar y restaurar el estado del modelo, hacer un video).
- BehaviorSpace, una herramienta de código abierto utilizada para recopilar datos de múltiples ejecuciones paralelas de un modelo.

- Modelador de Sistemas Dinámicos.
- NetLogo 3D para modelar mundos 3D.
- El modo sin cabezal permite hacer corridas por lotes desde la línea de comando.

En el apartado de resultados se muestran algunas de las características de la aplicación que se ha desarrollado y que hace parte de los resultados de esta investigación.

4.2.2 Descripción de la Aplicación

La plataforma H-CPLS permite la interacción de un humano coordinador con un CPLS, en la distribución logística urbana. Para poder desarrollarla, se contempló un sector en la ciudad de Bogotá, comprendido entre las calles 134 y 170 y las carreras 9na y Autopista Norte. Sobre este cuadrante se desarrolló la simulación para la entrega de productos, por parte de un distribuidor de logística urbana desde un Centro de Distribución, hacia unos clientes determinados. Para poder realizar los movimientos desde el Cedi hacia los clientes, fue necesario crear nodos, uniéndolos con arcos dirigidos, de tal forma que se pudiera simular el sentido de las vías y los vehículos pudieran moverse de manera correcta, desde un punto “x” hasta un punto “y” dentro del mapa.



Figura 25. Interfaz que muestra el sector de Bogotá determinado para el desarrollo del experimento.

Fuente: Autores.

Como se observa en la Figura 25, el Cedi se encuentra en un nodo (tortuga de acuerdo con Netlogo) ubicado en la parte superior izquierda de la imagen (en coordenadas xcor 40.89985207100592 y coordenadas ycor 172.51128598923887 – patch de acuerdo con

Netlogo), el cual está representado por un círculo color verde. Los clientes se encuentran ubicados en cualquier otra coordenada xcor ycor del mapa y al momento que los vehículos realizan movimientos entre cliente y cliente, se mueven entre los diferentes nodos, a través de los arcos ya establecidos.

Adicionalmente, para poder evaluar el modelo cognitivo del humano en el CPLS, se hizo necesario desarrollar otra interfaz, en donde el coordinador pudiera tomar las decisiones de asignación de productos a los vehículos disponibles (propios y tercerizados), así como mostrar graficamente, el tiempo disponible para la toma de decisiones, productos pendientes de entrega, penalizaciones por exceso de tiempo e indicadores económicos importantes dentro del proceso de ruteo de vehículos, tal y como se muestra en la Figura 26 presentada a continuación.

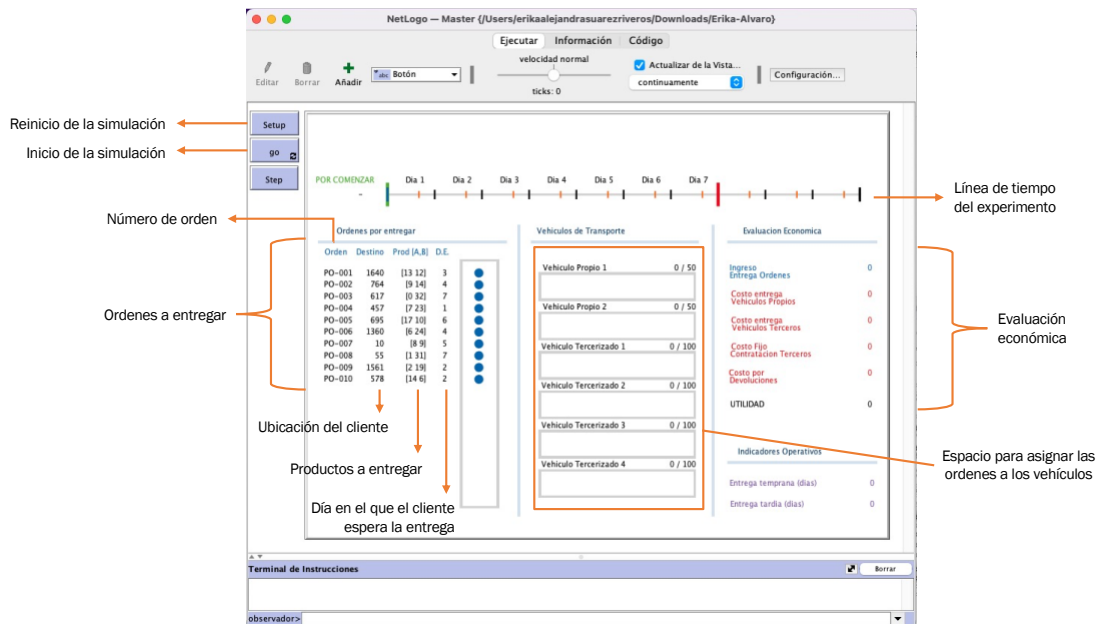


Figura 26. Interfaz gráfica donde interactúa el humano coordinador con el CPLS.

Fuente: Autores.

4.2.3 Funcionamiento de la plataforma

Para poder iniciar la plataforma, es necesario ubicar la carpeta nombrada como “plataforma CPLS” y dar click en el ícono llamado “Master”. Para poder abrir el archivo, se debe haber descargado previamente la aplicación Netlogo en el link [Download NetLogo \(northwestern.edu\)](http://DownloadNetLogo.northwestern.edu). Una vez abierta la aplicación, se visualiza la imagen observada en la Figura 27, compuesta por 3 botones en la margen superior izquierda (Setup, go, Step) y un cuadro color negro.

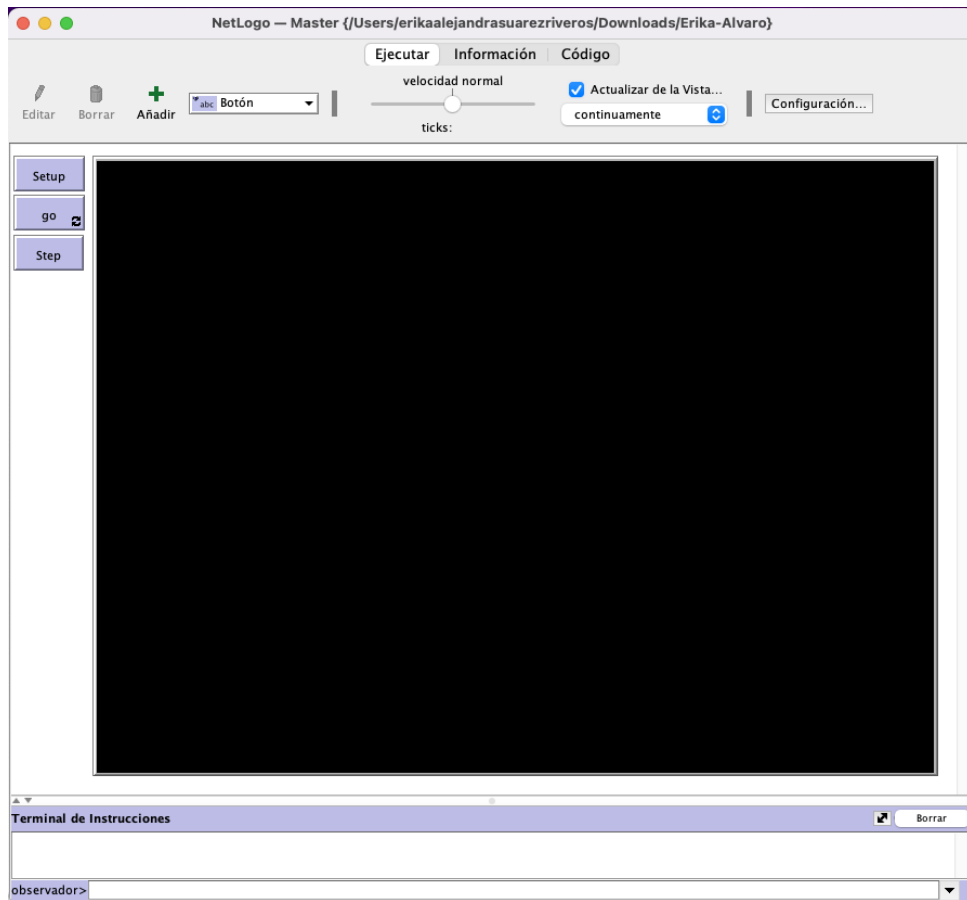


Figura 27. Ventana de inicio de la aplicación CPLS.

Fuente: Autores.

Al hacer click en Setup, se habilitan dos ventanas; la primera corresponde a la interface donde el coordinador deberá planear la entrega de los productos a los clientes (Figura 27) y la segunda, muestra la interface donde se evidencia de manera gráfica, la entrega planeada de los productos (Figura 26).

Para que el Coordinador logístico pueda hacer la programación de los productos, debe tener en cuenta las clases relacionadas en la Figura 23, las siguientes consideraciones y restricciones:

Consideraciones

- El coordinador logístico debe dar cumplimiento a las órdenes de pedido recibidas por los clientes.
- Los clientes se ubican en un nodo dentro del cuadrante seleccionado.
- Existen 2 tipos de productos los cuales deben ser despachados a los clientes.

- Los clientes solicitan que los productos A y B sean despachados en días específicos.
- Terminada la planeación de un día y ejecutada su simulación, al siguiente día ingresan nuevas órdenes de pedido, las cuales requieren ser despachadas, inclusive, el mismo día que se está planeando.

Restricciones

- Los vehículos propios tienen una capacidad de carga de 50 productos (entre A y B).
- Los vehículos tercerizados tienen una capacidad de carga de 100 productos (entre A y B).
- Sólo se dispone de 2 vehículos propios y 4 tercerizados.
- El uso de vehículos propios tiene un costo de \$260.
- El uso de vehículos tercerizados tiene un costo de \$400.
- Se debe minimizar el costo de entrega de productos A y B.

Para iniciar la simulación, es necesario dar click en el botón “go” de la interface de planeación. Al hacerlo, el coordinador dispondrá de 2 minutos para asignar órdenes de pedido a vehículos propios o tercerizados, moviendo los círculos azules y ubicándolos en los cuadros donde se encuentran los vehículos propios y tercerizados, tal y como se observa en la figura 28. El tiempo empieza a correr, observándose en la barra de decisiones, como éste comienza a agotarse paulatinamente; el coordinador deberá asignar los pedidos de la semana, antes que el tiempo se consuma. Una vez terminado el tiempo de planeación, en la interface donde se encuentra el plano de Bogotá (Figura 25), comienza a detallarse el desplazamiento de los vehículos, desde el CEDI, hasta los clientes que requirieron la entrega de productos; paralelo a esto, se observa que el tiempo de simulación, empezará a consumirse tal cual como sucedió con el lapso de planeación.

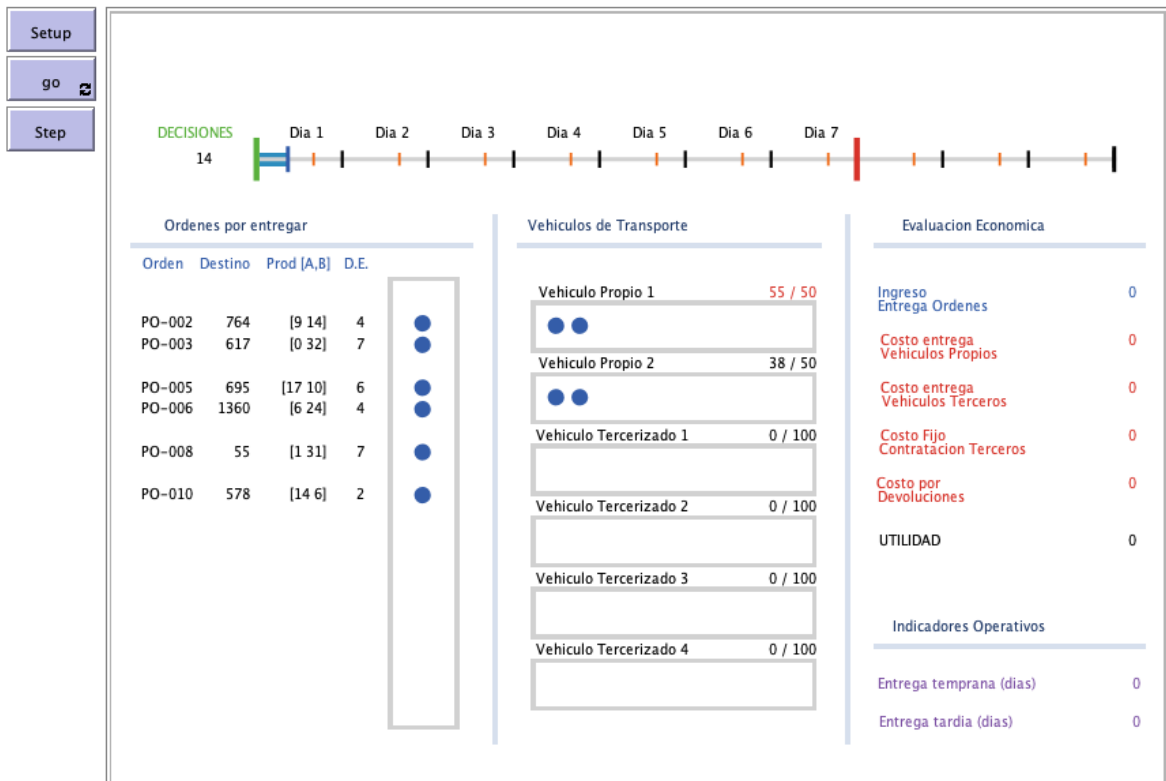


Figura 28. Asignación de pedidos en los vehículos propios y tercerizados.
Fuente: Autores.

En el tablero de mando de la plataforma, se puede ver la información como en la Figura 29, donde la columna *Orden* le da un código a cada pedido, la columna *Destino* muestra el número del nodo, que puede observarse en el mapa, según el número del cuadrante, como se ve en la Figura 30. En el cuadrante 1 están ubicados los nodos del 1 al 500, en el cuadrante 2 del nodo 501 al 1.000, en el cuadrante 3 del nodo 1.001 al 1.500 y en el cuadrante 4 están los nodos del 1.501 al 2.000, aproximadamente. En la columna *Prod [A,B]*, se visualiza el número de unidades del producto tipo A y tipo B. En la columna *D.E.*, se relaciona el día en el que el cliente espera recibir su orden de pedido.

Por ejemplo, en la orden PO-026 de la Figura 29, el cliente está ubicado en el nodo 1.172, es decir, en el cuadrante 3 de la Figura 30. El pedido del cliente es [0 6], lo que significa que espera recibir 0 unidades del producto A y 6 unidades del producto B, en el día 4 de la simulación.

Órdenes por entregar			
Orden	Destino	Prod [A,B]	D.E.
PO-026	1172	[0 6]	4
PO-003	617	[0 32]	7
PO-024	426	[11 12]	6
PO-017	860	[10 11]	5
PO-027	847	[5 4]	6
PO-011	612	[12 9]	5
PO-025	1018	[8 7]	4
PO-029	420	[7 0]	5
PO-030	839	[10 9]	6
PO-031	1211	[0 10]	5
PO-032	724	[11 12]	6



Figura 29. Información de órdenes por entregar en la plataforma H-CPLS.
Fuente: Autores.

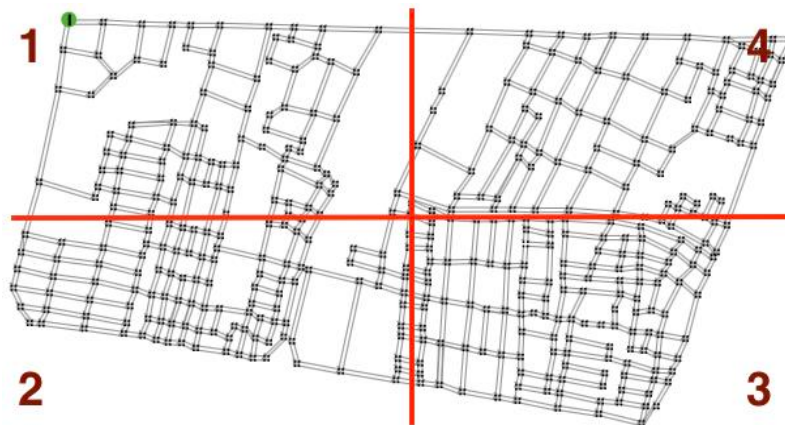


Figura 30. Cuadrantes del mapa de la plataforma H-CPLS.
Fuente: Autores.

Para la simulación se tuvo en cuenta el levantamiento de información suministrada en el capítulo 2, como se ve en la Figura 29, donde se hace uso de los colores para dar información y generar alertas. Mientras más oscuro el tono azul del círculo para cada pedido, mayor es la antigüedad de éste en esta lista. Por ejemplo, el pedido PO-003 tiene el tono más oscuro de la lista, lo que indica en la simulación, que la orden ingresó el día 1; mientras que la orden PO-027 tiene el color más claro indicando que es la más reciente en entrar al listado. La orden en color rojo, hace referencia a que se envió con anterioridad en algún vehículo, pero al terminar la simulación no se alcanzó a entregar, entonces volvió a la lista de órdenes pendientes.

En la sección denominada Evaluación económica, que se ve con mayor detalle en la Figura 31, se hace el cálculo posterior a la simulación, de los costos de entrega y los ingresos, para así determinar la Utilidad obtenida en el ejercicio.

Evaluacion Economica	
Ingreso Entrega Ordenes	7554
Costo entrega Vehiculos Propios	2210
Costo entrega Vehiculos Terceros	800
Costo Fijo Contratacion Terceros	0
Costo por Devoluciones	0
UTILIDAD	4544

Figura 31. Evaluación económica en la plataforma H-CPLS.
Fuente: Autores.

Capítulo 5. Validación de modelo cognitivo en la plataforma de distribución logística urbana

5.1 Introducción

Esta sección presenta el protocolo experimental en la plataforma de simulación de un Human Cyber Physical Logistic System H-CPLS. La intención de realizar estos experimentos, es evaluar el modelo cognitivo resultante del Juego de la cerveza y determinar su viabilidad, en el contexto de un controlador de logística terrestre en zona urbana.

5.2 Metodología

Se hizo una serie de 4 experimentos, cada uno con 4 fases como se ven en la Figura 32. En la fase 1 el participante conoce el contexto de la plataforma, su funcionamiento y las variables para tener en cuenta para tomar las decisiones; en este proceso interactúa por primera vez con la interfaz, en NetLogo, haciendo una ronda de prueba. En la fase 2, hace una ronda completa, donde toma las decisiones de los siete días de la semana.

Para esta validación, el enfoque y el diseño metodológico se basa en el utilizado en el capítulo 3 sección 3.2. Del mismo modo, los participantes corresponden con la población que colaboró en el capítulo 3, participando en esta fase de validación, 2 hombres y 2 mujeres. Se mantienen los criterios éticos de la investigación, descritos en la sección 3.2.5.

Es necesario reiterar, que el fundamento en la presente sección de validación, está en los protocolos verbales, como elemento relevante para recolectar información de los procesos y estrategias cognitivas de los participantes. Como un hecho adicional, se ha pedido al participante, compartir su experiencia y lo que pueda concluir de su toma de decisiones.

Para la fase 3, se hace uso de la imagen del modelo cognitivo resultante del Juego de la cerveza, para socializar con el participante los pasos del modelo cognitivo, que se espera ejecute en la siguiente ronda. Finalmente, en la fase 4, se hace una nueva ronda en la plataforma, haciendo uso de la metodología de protocolos verbales y al final, comparte sus propias conclusiones del uso del modelo cognitivo en la toma de decisiones.



Figura 32. Fases de experimentación en la plataforma H-CPLS.

Fuente: Autores.

5.3 Modelo cognitivo en la plataforma H-CPLS

Luego del paso de los participantes por la fase 1, se procedió a la ronda de control, de la cual se pudo deducir:

Participante 1 (Paula)

- No tuvo en cuenta la distancia y ubicación de los clientes, para tomar las decisiones de envío, su única guía fue que las órdenes se ajustaran a la capacidad de los vehículos y al cumplimiento de las entregas, en el día solicitado o antes.
- Le dio prioridad de envío, en primer lugar, al día en el que el cliente espera la llegada y ubicaba los pedidos de forma aleatoria dentro de los vehículos, sin hacer uso de los vehículos tercerizados.

Participante 2 (Carla)

- Siempre buscó cumplir con lo que se pedía para el mismo día en el que estaba haciendo las entregas en los vehículos propios. Para decidir, no tomó en consideración la distancia.
- Concluyó luego del experimento, que el tiempo para tomar las decisiones fue muy corto.

Participante 3 (Sebastián)

- A diferencia de los participantes anteriores, este jugador tuvo en cuenta la distancia de los clientes como punto importante para decidir, ya que manifestó que era importante en su proceso, que lo que pusiera en los vehículos alcanzara a entregarse en el día.
- Hizo uso de los vehículos tercerizados, con la única condición de enviarlo lleno en su capacidad, para que fuera rentable asumir el costo.

Participante 4 (Juan Camilo)

- Se propuso enviar todos los pedidos lo más rápido posible, haciendo uso de los vehículos propios y tercerizados.
- Tuvo en consideración como parámetro importante, la distancia de los clientes, en segundo lugar, priorizó la fecha de entrega de las órdenes de pedido.

Teniendo en cuenta la experiencia ya adquirida por parte de los participantes en el ejercicio anterior y luego de ejecutar la fase 4 ‘Socialización del modelo cognitivo’, donde se resaltó especialmente la categoría de Monitoreo, se procedió a hacer la segunda ronda en la plataforma H-CPLS, de la cual se obtuvieron las siguientes conclusiones:

Participante 1 (Paula)

- Luego de tomar las decisiones de cada día y mientras se ejecuta la simulación, el participante va haciendo cálculos previos, tomando en cuenta lo que va resultando de ese día. Se observa la aplicación de la categoría Monitoreo.
- Continúo dándole prioridad en el envío, al día en el que el cliente espera la llegada y ubicando los pedidos de forma aleatoria dentro de los vehículos, haciendo uso sólo una vez de un vehículo tercerizado en toda la ronda.

Participante 2 (Carla)

- Usó el *Monitoreo* en esta ronda, expresó que le fue útil conocer el modelo cognitivo completo, para ser consciente del proceso y la importancia de monitorear las decisiones que tomó anteriormente para las acciones futuras.

Participante 3 (Sebastián)

- Se evidenció la ejecución del *Monitoreo* en los 7 días, aspecto que no se vio en la ronda anterior. Mientras se ejecutaba la simulación, fue analizando las opciones para el siguiente día.
- Dentro de sus prioridades para tomar decisiones, las más importantes, en orden de importancia, fueron la distancia y la capacidad de los vehículos

Participante 4 (Juan Camilo)

- En esta ronda hizo uso del *Monitoreo*, pero además expresó al finalizar, que fue de gran utilidad, pues con anterioridad no había detallado cuánto tiempo tardaba en la simulación, las entregas a cada cliente, lo que le permitió analizar con mayor detalle y tomar decisiones.

Es importante resaltar que en la fase 4, los 4 participantes ejecutaron en su proceso cognitivo, la categoría de *Monitoreo*, punto importante de resaltar, ya que en la ronda 2, no se tuvo muy en cuenta. La importancia del *Monitoreo* puede notarse también en la mayor utilidad en casi todos los casos, como se ve en las Figuras 33, 34, 35 y 36.

Ronda Fase 2 (sin modelo cognitivo explicado)		Ronda Fase 4 (con modelo cognitivo explicado)	
Evaluación Económica		Evaluación Económica	
Ingreso Entrega Ordenes	10412	Ingreso Entrega Ordenes	10964
Costo entrega Vehiculos Propios	4420	Costo entrega Vehiculos Propios	4550
Costo entrega Vehiculos Terceros	600	Costo entrega Vehiculos Terceros	400
Costo Fijo Contratacion Terceros	0	Costo Fijo Contratacion Terceros	0
Costo por Devoluciones	0	Costo por Devoluciones	0
UTILIDAD	5392	UTILIDAD	6014

Figura 33. Utilidad del participante 1 en la plataforma H-CPLS

Fuente: Autores.

Ronda Fase 2 (sin modelo cognitivo explicado)		Ronda Fase 4 (con modelo cognitivo explicado)	
Evaluacion Economica			
Ingreso Entrega Ordenes	9806	Ingreso Entrega Ordenes	12628
Costo entrega Vehiculos Propios	4030	Costo entrega Vehiculos Propios	4030
Costo entrega Vehiculos Terceros	800	Costo entrega Vehiculos Terceros	1200
Costo Fijo Contratacion Terceros	0	Costo Fijo Contratacion Terceros	0
Costo por Devoluciones	0	Costo por Devoluciones	0
UTILIDAD	4976	UTILIDAD	7398

Figura 34. Utilidad del participante 2 en la plataforma H-CPLS
Fuente: Autores.

Ronda Fase 2 (sin modelo cognitivo explicado)		Ronda Fase 4 (con modelo cognitivo explicado)	
Evaluacion Economica			
Ingreso Entrega Ordenes	8732	Ingreso Entrega Ordenes	9744
Costo entrega Vehiculos Propios	3120	Costo entrega Vehiculos Propios	3900
Costo entrega Vehiculos Terceros	2600	Costo entrega Vehiculos Terceros	1400
Costo Fijo Contratacion Terceros	0	Costo Fijo Contratacion Terceros	0
Costo por Devoluciones	0	Costo por Devoluciones	0
UTILIDAD	3012	UTILIDAD	4444

Figura 35. Utilidad del participante 3 en la plataforma H-CPLS
Fuente: Autores.

Ronda Fase 2 (sin modelo cognitivo explicado)		Ronda Fase 4 (con modelo cognitivo explicado)	
Evaluacion Economica		Evaluacion Economica	
Ingreso Entrega Ordenes	9686	Ingreso Entrega Ordenes	8820
Costo entrega Vehiculos Propios	2990	Costo entrega Vehiculos Propios	3380
Costo entrega Vehiculos Terceros	2800	Costo entrega Vehiculos Terceros	2200
Costo Fijo Contralacion Terceros	0	Costo Fijo Contralacion Terceros	0
Costo por Devoluciones	0	Costo por Devoluciones	0
UTILIDAD	38%	UTILIDAD	32.40

Figura 36. Utilidad del participante 4 en la plataforma H-CPLS
Fuente: Autores.

El participante 1 tuvo una mejora del 18% de la utilidad en el segundo experimento, en relación con el primero; el participante 2 mejoró aproximadamente en un 33% y el participante 3 mejoró en un 32,2%. En contraposición a estos tres casos, el participante 4 tuvo una desmejora de la utilidad, correspondiente al 16,8%.

Conclusiones y perspectivas de investigación

Los Sistemas Ciberfísicos y su investigación en los últimos años, tienen mayor parte de sus esfuerzos centrados en la producción y la fabricación, lo que deja una oportunidad para abordar el CPS, en otras áreas de aplicación como el sector salud, los sistemas energéticos, robótica, entre otros, además de la logística y cadena de abastecimiento, temas de esta investigación. Dentro de la consulta hecha, se detectó que en los diferentes niveles de madurez para CPLS, en los últimos años la investigación se ha centrado en los niveles de madurez 4, correspondiente a la “Mejora la toma de decisiones” y el 5 en relación a “Sistema logístico físico cibernético interactivo”; los sistemas encontrados en este último nivel están enfocados en la docencia y la investigación.

El propósito de esta investigación es rediseñar un modelo cognitivo de toma de decisiones, para ser usado por un supervisor humano, en la coordinación de la distribución logística urbana, haciendo uso de una plataforma de simulación. El objetivo principal fue rediseñar el modelo cognitivo de Inoue, enfocado en controladores de tráfico aéreo, con el fin de ser usado por un supervisor humano, en la coordinación de la distribución logística urbana, para estudiar la forma en cómo será el proceso de automatización en una relación estrecha con el rol humano, en el contexto propio de la logística urbana terrestre. Desde este punto de partida, en este trabajo se propuso hacer las siguientes contribuciones.

La primera, se centra en los resultados del establecimiento de los requisitos de una arquitectura CPLS. Primero se detectó una serie de desafíos y oportunidades, debido a los recientes avances tecnológicos y cómo se pueden potenciar si se utilizan adecuadamente las tecnologías habilitadoras de la cuarta revolución industrial. Por ejemplo, la implementación de tecnología para el almacenamiento de información en la nube, merece especial atención para garantizar la integridad, privacidad y seguridad de la información, ya que se detecta el riesgo de fuga de información por ataques cibernéticos o robo de información. Igualmente, es desafiante encontrar una conexión armónica entre el hombre y la CPLS, de tal manera que esta integración pueda ser aprovechada para el cumplimiento de los objetivos de las organizaciones. Por último, de las entrevistas desarrolladas dentro del sector productivo, se detectó la importancia de tener claridad de las variables que impactan en la toma de decisiones, como los productos disponibles, la ubicación propia de los clientes, el tráfico en la zona donde se mueven los vehículos y los indicadores de productividad, así como las consecuencias por cada decisión.

La segunda contribución fue la propuesta de un modelo cognitivo para un controlador de distribución logística urbana. El modelo cognitivo propuesto, que parte del diseñado por Inoue (2012), aporta una nueva categoría denominada *Monitoreo*, donde el controlador hace una evaluación consciente del proceso que está desarrollando, considerando las consecuencias de sus decisiones, tanto en el pasado, presente y futuro de la situación de está viviendo, esto para generar nuevos ítems dentro de la base de conocimiento y creando una nueva rutina que pueda ser usada en el futuro. Así mismo, cuando la decisión no ha traído los resultados esperados, este hecho aporta a las futuras estrategias de toma de decisiones.

Esta contribución se hizo de la mano con el Juego de la cerveza como experimento, donde además de lo ya mencionado, se evidenció cómo cada persona ejecuta el modelo cognitivo de formas diferentes, ante las situaciones que se le presentan. Por ejemplo, el Minorista y el Distribuidor hicieron mayor uso del *Pensamiento basado en el conocimiento*, mientras que el Minorista hizo mayor uso de la *Proyección de la situación futura* y de las 3 categorías pertenecientes a la *Conciencia situacional*, pero el distribuidor hizo menor uso de la proyección futura. Además de otros factores, como que el Mayorista haya hecho menor uso del *Pensamiento basado en el conocimiento*, esto puede estar relacionado con su experiencia reciente en el Juego de la cerveza, hecho que dio a conocer. El modelo cognitivo propuesto en esta investigación no es determinante, dado el contexto de la población que participó en el experimento. Por lo tanto, no se puede inferir su solidez para otros sectores, dando vía a una validación más robusta.

La tercera contribución fue la plataforma H-CPLS. La plataforma permite emular el proceso de supervisión del despacho de una cadena de abastecimiento urbana y realizar las simulaciones del proceso logístico, generando situaciones que obligan al controlador a tomar decisiones. Esta plataforma además de ser fundamental para el desarrollo de la última contribución, impacta como herramienta de uso pedagógico y académico en asignaturas que se consideren pertinentes, ya que contempla variables limitantes que son retadoras para el usuario.

La cuarta contribución es la validación del modelo cognitivo en la plataforma H-CPLS. En esta validación se determinó que el modelo cognitivo resultante como segunda contribución de esta investigación, fue de gran utilidad para quienes hicieron uso de él, dentro de la plataforma H-CPLS. Esto, basados en los resultados de mejora en la utilidad del experimento y en los aportes de los participantes según su percepción, resaltando que el conocer el modelo cognitivo, su flujo y la categoría *Monitoreo*, fueron de gran utilidad para tomar mejores decisiones. Finalmente esta contribución sustenta el modelo cognitivo rediseñado por los autores.

Este trabajo presenta un modelo cognitivo para controladores de distribución logística urbana resultante, probado en dos diferentes escenarios netamente académico, donde se detectó mejora en la facilidad para tomar decisiones en los controladores, además de mejoras en los resultados de estas decisiones.

Trabajos futuros

De esta investigación pueden derivarse diferentes trabajos futuros relacionados a los modelos cognitivos para controladores en las diferentes áreas de aplicación de los Sistemas Ciberfísicos, generando modelos nuevos para cada caso puntual, en búsqueda de la mejora continua del proceso de la toma de decisiones. Para lo anterior, epistemológicamente hablando, utilizar los protocolos verbales puede ser una opción, entre otras, plausible en el avance de la línea de investigación antes indicada.

Es importante contemplar, para el futuro, otros factores que impactan en el humano como controlador de un CPLS, por ejemplo, el entorno en el que el humano está situado para tomar decisiones, dado que la fatiga, la iluminación, las condiciones del espacio, entre otros factores de orden ergonómico, pueden afectar la ejecución del modelo cognitivo y obtener los resultados esperados.

Igualmente, es importante considerar el proceso cognitivo, pero especialmente las condiciones que afectan física y mentalmente a los humanos que participan dentro del CPLS; en la parte física, elementos como el entorno real, que son constantemente monitoreados y que se ven afectados por las decisiones a nivel global, que toma la máquina o el controlador a cargo. Sería valioso en el futuro, estudiar las condiciones ergonómicas desde lo físico y lo cognitivo, que afectan al humano y su desempeño como entidad que sigue las instrucciones dadas, desde el nivel superior del CPLS. La investigación en torno a la interacción del humano con los CPS en sus diferentes niveles, podría contribuir a mitigar la variación, la fatiga y el juicio erróneo propio de los humanos dadas las condiciones, que influyen en la comisión de errores, esto en la búsqueda de la optimización del desempeño del sistema.

En relación con la plataforma de simulación H-CPLS, es importante resaltar que existe oportunidad de mejora para que sea más robusta, especialmente sobre las condiciones que expone para el controlador, actualmente es una herramienta que puede ser usada de forma pedagógica en las aulas de clase y para futuros estudios, que contemplen modelos cognitivos o no. Además, está abierto a explorar el campo de los modelos de analítica y de optimización, para sugerir la plataforma de simulación, decisiones en tiempo real que contribuyan al humano a tomar mejores decisiones, dado que al obtener el aporte de optimización del procesamiento computacional y adicionar las habilidades de creatividad, flexibilidad y planificación propias del humano que confluye como controlador, podría potenciar la optimización de las decisiones.

Sobre las pruebas experimentales, el modelo de Inoue surgió de un proceso que implicó un grupo de 75 participantes, por lo que, el modelo aquí propuesto, está sujeto a fortalecer el grupo muestra, para obtener resultados más variables, dado que el grupo poblacional fue delimitado a estudiantes. Se propone ampliar la investigación al incluir un grupo con experiencia en el sector real, como controladores de distribución logística urbana.

Referencias bibliográficas

- Bassi-Follari, J. (2015). El código de transcripción de Gail Jefferson: adaptación para las ciencias sociales. *Quaderns de Psicologia*, 17(1), 39–62.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(suppl 3), 7280–7287. <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
- Cachada, A., Barbosa, J., Leitao, P., Deusdado, L., Costa, J., Teixeira, J., Teixeira, C., Romero, L., & Moreira, P. M. (2019). Development of Ergonomic User Interfaces for the Human Integration in Cyber-Physical Systems. *2019 IEEE 28th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 1632–1637.
- Chiavenato, I. (2009). *Comportamiento organizacional la dinámica del éxito en las organizaciones* (Segunda ed, Vol. 148). Mc Graw Hill Education. https://www.academia.edu/29923149/Comportamiento_Organizacional_Idalberto_Chiavenato_McGrawhill_2da_Edicion_pdf
- Comercio, M. D. E., & Turismo, I. Y. (2013). Decreto 1377 de 2012. *Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia*. http://www.mintic.gov.co/portal/604/articles-4274_documento.pdf
- Congreso de la República de Colombia. (2012). Ley 1581 de 2012. *Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales*. https://www.defensoria.gov.co/public/Normograma2013_html/Normas/Ley_1581_2012.pdf
- Cortés, C. , Landeta, J., & Chacón, J. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia tecnológica*, 54, 33–45. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/944/94454631006/html/index.html>
- De-La-Puente, A. (2016). El juego de la cerveza y la cadena de suministro [Universidad de Valladolid]. En *Universidad de Valladolid*. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/18066/TFM-P-385.pdf;jsessionid=064022965F83E2B19686D776AA0914CE?sequence=1>
- Ericsson, A., & Simon, H. (1993). *Protocol Analysis. Verbal Reports as Data*. Cambridge, Massachustes.
- Estrada-Gallego, F. (2006). Herbert A . Simon y la economía organizacional Fernando Estrada Gallego. *Revista Sociedad y Economía*, 11, 146–174. <https://www.redalyc.org/pdf/996/99616177006.pdf>
- Fantini, P., Leitao, P., Barbosa, J., & Taisch, M. (2019). Symbiotic Integration of Human Activities in Cyber-Physical Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 52(19), 133–138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.124>
- Fantini, P., Tavola, G., Taisch, M., Barbosa, J., Leitao, P., Liu, Y., Sayed, M., & Lohse, N.

- (2016). Exploring the integration of the human as a flexibility factor in CPS enabled manufacturing environments: Methodology and results. *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 5711–5716.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (J. Mares-Chacon (ed.)). McGraw Hill Intereamericana Editores S.A. <http://www.casadellibro.com/libro-metodologia-de-la-investigacion-5-ed-incluye-cd-rom/9786071502919/1960006>
- Highsmith, J. (2005). Adaptive Software Development A collaborative Approach to Managing Complex Systems. En *IEEE Spectrum* (Vol. 37, Número 5). Dorset House Publishing. <https://doi.org/10.1109/mspec.2000.842129>
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Inoue, S., Furuta, K., Nakata, K., Kanno, T., Aoyama, H., & Brown, M. (2012). Cognitive process modelling of controllers in en route air traffic control. *Ergonomics*, 55(4), 450–464. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.647093>
- Jefferson, G. (1985). On the organization of laughter in talk about troubles. *Structures of Social Action*, 346–369. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511665868.021>
- Jiménez, J. (2017). *Dynamic and hybrid architecture for the optimal reconfiguration of control systems: application to manufacturing control* [Tesis doctoral, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis]. Repositorio institucional <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01668578>
- Jimenez-Romero, C., Tisnés, A., & Linares, S. (2020). Modelo de simulación del COVID-19 basado en agentes. Aplicación al caso argentino. *Revista Posición*, 3, 1–22.
- Kong, X. T. R., Zhong, R. Y., Zhao, Z., Shao, S., Li, M., Lin, P., Chen, Y., Wu, W., Shen, L., Yu, Y., & Huang, G. Q. (2020). Cyber physical ecommerce logistics system: An implementation case in Hong Kong. *Computers and Industrial Engineering*, 139, 106170. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106170>
- Larrosa, J. (2012). *Introducción a la economía computacional basada en agentes con aplicaciones en NetLogo* (1a Edición). Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns.
- Li, Q., Li, X., & Li, J. (2020). Research on Logistics Vehicle Scheduling Optimization Based on Cyber-Physical System. *Proceedings - 2020 International Conference on Computer Engineering and Application, ICCEA 2020*, 537–542. <https://doi.org/10.1109/ICCEA50009.2020.00119>
- Macal, C. M. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 10(2), 144–156. <https://doi.org/10.1057/jos.2016.7>

- Manley. (1975). *Las decisiones del ejecutivo*. Editorial Continental.
- Marwedel, P., & Engel, M. (2016). Cyber-Physical Systems: Opportunities, Challenges and (Some) Solutions. En A. Guerrieri, V. Loscri, A. Rovella, & G. Fortino (Eds.), *Management of Cyber Physical Objects in the Future Internet of Things: Methods, Architectures and Applications* (pp. 1–30). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26869-9_1
- Ministerio-de-Tecnologías-de-la-Información-y-las-Comunicaciones. (2019). *Aspectos Básicos de la Industria 4.0* (Vol. 148). Comunicaciones, Ministerio de Tecnologías de la Información y las.
- Navarro-Cadavid, A., Fernández-Martínez, J., & Morales-Vélez, J. (2013). Revisión de metodologías ágiles para el desarrollo de software. *Prospectiva*, 11(2), 30–39. <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496250736004.pdf>
- Payne, J. W. (1994). Verbal Protocols. *Psychological Science*, 5(5), 241–248.
- Pimenta, D., Rodrigues, J. C., & Oliveira, J. F. (2020). The Social Impact of the Use of Cyber-Physical Systems in Manufacturing: An Initial Approach. En T. Borangiu, D. Trentesaux, P. Leitão, A. Giret Boggino, & V. Botti (Eds.), *Service Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future* (pp. 72–84). Springer International Publishing.
- Quesada-Chaverri, F. (2018). *Introducción al lenguaje Netlogo y la programación basada en agentes*. Quesada-Chaverri, Francisco. <http://franciscoquesada.com/wp-content/uploads/2018/04/netlogo7.pdf>
- Rädiker, S., & Kuckartz, U. (2020). Análisis de Datos Cualitativos con MAXQDA. En *Maxqda Press*. MAXQDA PRESS. https://5f5042361b05f9ffe3d5-02d87b65c94206e6108b071950d8e892.ssl.cf2.rackcdn.com/Analisis_de_datos_cualitativos_con_MAXQDA.pdf
- Requena, M. (2003). El análisis de protocolo como técnica para la comprensión de los procesos de razonamiento. *Laurus Revista de educación*, 9(16), 79–96.
- Reyes, T. (1999). Metodos cualitativos de investigacion: los grupos focales y el estudio de caso. *Forum empresarial*, 4(2), 75–87.
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijIM)*, 11(5), 77–90.
- Russo, J., Johnson, E., & Stephens, D. (1989). The validity of verbal protocols. *Memory & cognition*, 17(6), 759–769. <https://doi.org/10.3758/BF03202637>
- Santamaría-Peraza, R. (2012). La cadena de suministro en el perfil del Ingeniero Industrial: una aproximación al estado del arte. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 3(8), 39–50.

<https://www.redalyc.org/pdf/2150/215025114004.pdf>
<https://www.redalyc.org/html/2150/215025114004/>

Schwab, K. (2017). *La cuarta revolución industrial* (Vol. 148). Debate - The World Economic Forum.

Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2015). Virtual Engineering Object / Virtual Engineering Process: A specialized form of Cyber Physical System for Industrie 4.0. *Procedia Computer Science*, 60, 1146–1155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.166>

Simon, H. A. (1947). *El comportamiento administrativo estudio de los procesos de adopción de decisiones en la organización administrativa* (Tercera Ed). Tolle, Lege Aguilar. https://isabelportoperez.files.wordpress.com/2011/11/simon-comportamiento_admtivo.pdf

Simon, H. A. (1991). Organizations and markets. *Journal of economic perspectives*, 5(2), 25–44. <https://doi.org/10.4324/9780203931110>

Sterman, J. (1992). Teaching Takes Off: Flight Simulators for Management Education. *OR/MS Today*, 40–44. <http://web.mit.edu/jsterman/www/SDG/beergame.html>

Sterman, J. (2015). Booms, Busts, and Beer: Understanding the Dynamics of Supply Chains. *The Handbook of Behavioral Operations Management: Social and Psychological Dynamics in Production and Service Settings*, 203–237. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199357215.003.0011>

Suárez-Riveros, E., Mejia-Mantilla, Á., Jaimes-Suárez, S., & Jimenez, J.-F. (2021). Cyber-Physical Systems in Logistics and Supply Chain. En T. D., B. T., L. P., J. JF., & M.-T. J.R. (Eds.), *Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future. SOHOMA*. (pp. 260–271). Studies in Computational Intelligence. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-80906-5_18

Tutorials Point. (2019). *Adaptive Software Development*. Tutorials Point (I) Pvt. Ltd.

VERBI-MaxQDA. (2021). *Codificar, Interpretar y Presentar es Fácil con MAXQDA*. Página corporativa. <https://es.maxqda.com/>

Zhang, Y., Guo, Z., Lv, J., & Liu, Y. (2018). A Framework for Smart Production-Logistics Systems Based on CPS and Industrial IoT. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(9), 4019–4032. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/TII.2018.2845683>

Zhou, K., Taigang Liu, & Lifeng Zhou. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147–2152. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>

Zhou, K., Ye, C., Wan, J., Liu, B., & Liang, L. (2013). Advanced Control Technologies in Cyber-physical System. *2013 5th International Conference on Intelligent Human-Machine*

Systems and Cybernetics, 2, 569–573. <https://doi.org/10.1109/IHMSC.2013.284>