

Beer Game como estrategia de gamificación aplicando Industria 4.0: más que un juego de inventarios

Beer Game as a gamification strategy applying Industry 4.0: more than an inventory game

Recibido: enero 18 de 2024
Aceptado: abril 19 de 2024
Publicado: mayo 15 de 2024

Cómo citar este artículo: Aguirre-Álvarez, Y. A., Patino-Rodríguez, C. E., Maya-Iregui, C. M., & Bolívar-Torres, E. (2024). Beer Game como estrategia de gamificación aplicando Industria 4.0: más que un juego de inventarios. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 14 (1), 155-178.

doi: [org/10.19053/uptc.20278306.v14.n1.2024.17629](https://doi.org/10.19053/uptc.20278306.v14.n1.2024.17629)

Yenny Alejandra Aguirre-Álvarez

Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

E-mail: yenny.aguirre@udea.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7357-5759>

Carmen Elena Patino-Rodríguez

Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

E-mail: elena.patino@udea.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6040-4734>

Catalina María Maya-Iregui

Grupo Nutresa, Medellín, Colombia.

E-mail: catalina.mayai@udea.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9649-2529>

Emmanuel Bolívar-Torres

Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

E-mail: emmanuel.bolivart@udea.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-5477-5970>

Resumen

Uno de los grandes retos en los procesos de aprendizaje, es el fortalecer competencias blandas y técnicas en contexto real de la comunidad académica con estrategias vivenciales como la gamificación, que además se alinee con las tendencias tecnológicas de la Industria 4.0. Este artículo propone una adaptación del *Beer Game* como estrategia de gamificación, usando un modelo de fábrica a escala que simula los procesos logísticos con agregación de valor. En este sentido, se describe y compara el *Beer Game* tradicional y su versión adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM, para finalmente realizar un análisis de principios, pilares y tecnologías de la Industria 4.0 aplicados en la adaptación aquí propuesta. El principal resultado es la innovación en la articulación del *Beer Game* como estrategia de gamificación y la aplicación de Industria 4.0 como propuesta de valor para fortalecer los conceptos logísticos en perfiles como el del Ingeniero Industrial.

Palabras clave: industria 4.0, juego de la cerveza, gamificación, estrategia de inventarios.

Abstract

One of the great challenges in learning processes is to strengthen soft and technical skills in real context of the academic community with experiential strategies such as gamification, which is also aligned with the technological trends presented by Industry 4.0. This article proposes to document an adaptation of the Beer Game, as a gamification strategy using a scale factory model that simulates logistics processes with value addition. For this purpose, it describes and compares the traditional Beer Game and its version adapted to the Plant 4.0 SCM simulator to finally perform an analysis of principles, pillars and technologies of Industry 4.0 applied in the adaptation proposed here. The main result is the innovation in the articulation of the Beer Game as a gamification strategy and the application of Industry 4.0 as a value proposition to strengthen logistics concepts in profiles such as Industrial Engineer.

Keywords: industry 4.0, beer game, gamification, inventory strategy.

1. Introducción

Los conceptos de Industria 4.0 ya son una realidad, sin embargo, acercar a los estudiantes de educación superior a interactuar con ellos es una labor que está en un modo incipiente (Martínez-Ruiz, 2019). Una de las estrategias que aparece es usar modelos de entrenamiento inspirados en industrias reales, así como las estrategias de gamificación como método para poder interrelacionar los conceptos relevantes y tener un aprendizaje significativo.

En Ingeniería Industrial se deben fortalecer conceptos clave como: gestión de cadenas de abastecimiento, pronósticos, planificación e indicadores. Se han desarrollado distintas lúdicas para explorar estos conceptos, siendo una de las más conocidas el "juego de la cerveza" (*Beer Game*). Esta estrategia de gamificación fue desarrollada en la década de los 60, en el MIT, como un juego de simulación basado en la gestión de la cadena de suministro (Arias, 2007). Uno de los objetivos de esta estrategia gamificada es partir de demandas desconocidas para traducir el efecto látigo, reduciendo los costos de inventario. Este modelo se ha utilizado para validar pronósticos, planificar, establecer indicadores y para las necesidades tecnológicas en las operaciones, haciendo que su adaptación resulte estratégica como un ecosistema de aprendizaje. En este estudio se busca responder la pregunta: ¿es posible disponer de un escenario de adaptación de la estrategia de gamificación *Beer Game* aplicando algunos de los conceptos asociados a Industria 4.0?

Este artículo está dividido en 4 secciones. La sección 1 aborda esta introducción. En la sección 2 se presenta la metodología haciendo énfasis en las 4 fases diseñadas para

responder la pregunta de investigación. En la sección 3 son presentados los principales resultados y permite evaluar y discutir los escenarios de adaptación y la estrategia de gamificación aplicando algunos conceptos asociados a Industria 4.0. Finalmente, en la sección 4 se presentan las principales conclusiones del estudio. Esta propuesta representa un tema que sigue siendo vigente y permite actualizar el juego a frentes de la Industria 4.0, con aplicaciones que le brindan a las nuevas generaciones la oportunidad del aprendizaje que éste proporciona, permitiendo además nuevos desarrollos.

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo y cualitativo, con un método combinado de investigación exploratoria, descriptiva, correlacional y experimental. Esto permite abordar de manera integral la pregunta de investigación y proporcionar una base sólida para la adaptación del *Beer Game* como estrategia de gamificación en el contexto de la Industria 4.0. Las variables de análisis incluidas en el estudio, son: inventario, costo y tiempo de procesamiento. La experimentación fue aplicada a un grupo de estudiantes de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de Antioquia, quienes jugaron *Beer Game* de forma tradicional y otro grupo de estudiantes quienes realizaron la práctica usando la Planta 4.0 simuladora SCM. A continuación se describen las cuatro fases de la metodología.

En la primera fase se realiza una revisión de la literatura para comprender la gamificación *Beer Game* y los conceptos clave de la Industria 4.0. En esta fase se identifican las posibles adaptaciones y mejoras que pueden

aplicarse al *Beer Game* para alinearlos con los principios de la Industria 4.0.

La descripción del *Beer Game* tradicional como estrategia de gamificación y su versión adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM, corresponde a la fase 2. Para ello se documentan detalladamente los procesos de abastecimiento, almacenamiento, procesado y distribución en el modelo de Planta 4.0 simuladora SCM, así como las adaptaciones necesarias entre el *Beer Game* tradicional y la propuesta que integra los conceptos de la Industria 4.0. Del mismo modo, se definen los materiales, roles, plantillas y formatos, junto con los indicadores de desempeño para respaldar de manera integral la propuesta.

En la fase 2 también se realizan los pilotos de ambas estrategias de gamificación (*Beer Game* tradicional y su versión adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM) y se recopilan datos cualitativos y cuantitativos de los participantes, obteniendo así una retroalimentación sobre la experiencia y la aplicabilidad de los conceptos de la Industria 4.0.

La tercera fase corresponde a la comparación del *Beer Game* tradicional como estrategia de gamificación y su versión adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM.

En la fase 4 se realiza el análisis de principios, pilares y tecnologías de la Industria 4.0 en la Planta simuladora SCM. Usando una escala de 1 a 5 se establece la relación existente entre los principios, pilares y tecnologías de la Industria 4.0; y los resultados de las pruebas piloto y las respuestas de las encuestas sirven para determinar la efectividad de la estrategia de gamificación y su alineación con la Industria 4.0.

3. Resultados y discusión

3.1. Fase 1: marco conceptual

Gamificación

El término gamificación se deriva del anglicismo *game* y se puede definir como una técnica de aprendizaje que permite incluir el juego con temáticas de enseñanza que se adaptan a las necesidades (Marlés-Bentancourt et al., 2021). La gamificación tiene como objetivo fomentar la participación, el interés en actividades educativas y facilita la retención de los conocimientos extraídos del juego; también suelen llamarse juegos serios o *serious games* por algunos autores (Vergara-Pareja et al., 2021).

Beer Game es una estrategia de gamificación de simulación creada en la década de los 60, en el MIT, por el ingeniero Jay Wright Forrester, el cual gira entorno a la cadena de suministro de las industrias y ejemplifica el “efecto látigo”, que es la variabilidad que se presenta en la demanda de los clientes y en general en toda la cadena de suministros (Arias, 2007). Esta estrategia de gamificación es usada normalmente para generar una mayor apropiación de los conceptos lógicos.

La revisión de la literatura permite afirmar que el *Beer Game* se ha venido realizando de manera tradicional, aunque recientemente se han integrado equipos TIC o software que adaptan la realidad pero sin generar variantes que automaticen la estrategia de gamificación. En otras palabras, aún no se da la integración por completo con la cuarta revolución industrial (León-García & Bermúdez-Segura, 2021). Finalmente, la tabla 1 permite sintetizar las variaciones del *Beer Game* como ejercicio de los trabajos revisados.

Tabla 1. Variaciones del *Beer Game*.

Fuente	Variación	Aplicaciones tecnológicas
Kimbrough & Fang-Zhong (2002)	Modelación de la cadena de suministro ejecutada por agentes artificiales para investigar si funcionan mejor que los humanos al jugar el <i>Beer Game</i> . Caso en el que una empresa automatizada tiene una cadena de suministro electrónica que consta de varios agentes artificiales.	Industria 4.0: agentes artificiales – simulación.
Chaharsooghi et al. (2008)	Aplica un modelo de aprendizaje reforzado para determinar la política de pedidos del <i>Beer Game</i> . Se introdujo una política de pedidos basada en algoritmos genéticos (AG) bajo las condiciones del entorno del <i>Beer Game</i> .	Ninguna.
Rodríguez-Villalobosa & Sempere-Ripoll (2015)	Se pretenden alcanzar los mismos objetivos didácticos, al tiempo que mejora algunos de sus aspectos como por ejemplo el cálculo y análisis de los resultados en tiempo real. Utilizan diferentes indicadores y un grupo de control para evaluar el proceso de enseñanza-aprendizaje.	Implexa es una herramienta informática.
Thompson & Badizadegan (2015)	Simulación de eventos discretos del juego en Excel. La aplicación una estrategia óptima para el juego estándar (es decir, $k=8$, unidades por ronda), conduce a una puntuación total del equipo de \$148, lo que representa una mejora considerable con respecto a los puntos de referencia publicados anteriormente.	Simulación.
Hernández-Betancur et al. (2018)	Se basa en una aplicación virtual del <i>Beer Game</i> , en la que se espera que los participantes generen estrategias deliberadas (planear) y emergentes, con el fin de generar entornos controlados para la toma de decisiones.	Aplicación Web del <i>Beer Game</i> .
Ştefan et al. (2019)	El primer juego se juega sin intercambiar más información que a través de órdenes, mientras que, antes del segundo juego, los jugadores desarrollan una estrategia común a seguir: el objetivo es reducir el efecto látigo.	Juegos en línea: Sumaga es un juego multiusuario. <i>Serious Multiplayer Online Role Play Game (SMORPG)</i> .

SCM (Supply Chain Management)

Hace referencia a la administración de la cadena de suministro. En otras palabras, es el seguimiento de todas las operaciones realizadas sobre un producto, desde su materia prima hasta la recepción de este por parte del cliente final (Andino, 2006). El SCM tiene asociado estrategias y conceptos tales como: efecto látigo, análisis de oferta-demanda, *cross-docking* y planeación logística y financiera.

Industria 4.0

Industria 4.0 es el término que se usa para referirse a la cuarta revolución industrial. Esta revolución se caracteriza principalmente por la implementación de sistemas ciberfísicos, el *Internet of Things* (IoT) o internet de las

cosas, y los procesos computacionales en la nube. El objetivo de utilizar las nuevas tecnologías digitales es lograr una mayor eficiencia, flexibilidad y adaptabilidad en la producción. Esas nuevas tecnologías, que se derivan de la cuarta revolución industrial, están cambiando la forma en cómo se ven y se hacen los procesos físicos. Este cambio se da mediante la obtención de información en tiempo real, implementando sistemas RFID o diversos sensores (Lasi et al., 2014), y usando esa información obtenida para la toma de decisiones oportunas y eficientes. La utilización de estrategias de gamificación como el *Beer Game* abre la posibilidad de dar una mayor apropiación de los conceptos y pilares de la Industria 4.0, tanto en la academia como en la industria (tabla 2).

Tabla 2. Pilares vs. tecnologías de la Industria 4.0.

Nombre	Definición del pilar	Tecnologías asociadas	Autor
Análisis de datos	Recopilación, análisis y manipulación masiva de datos para una posterior utilización en las industrias.	Plataformas <i>business intelligence</i> (BI), tecnologías <i>machine learning</i> , sistemas de gestión de metadatos.	Greco et al. (2019) Garghetti et al. (2023) Berges et al. (2021)
Robótica	Uso de robots dentro de las empresas para generar una automatización de los procesos.	Sensores, automatización de puestos y flujo de trabajo, transporte autónomo	Baratta et al. (2023) Haleem et al. (2021) Ribeiro et al. (2021)
Simulación	Generación de modelos computacionales reales o hipotéticos de los cuales se puede predecir posibles comportamientos futuros.	Software de simulación, modelados 3D, gemelos digitales, realidad mixta.	Cimino et al. (2023) Ferreira et al. (2020) Cimino et al. (2020)
Integración horizontal y vertical	La integración horizontal es la interconexión de máquinas, procesos de ingeniería y dispositivos conectados a internet que hacen parte de los procesos. La integración vertical es la circulación ágil, mediante tecnologías.	<i>Blockchain</i> , IoT, plataformas de gestión en tiempo real.	Abideen et al. (2023) Han et al. (2016)
IoT	Según Oracle, IoT es la red de objetos físicos con software, sensores, y otros dispositivos que permiten una interacción entre esos objetos mediante internet.	Sensores inteligentes, sistemas RFID, sistemas de localización y seguimiento.	Witkowski (2017) Soori et al. (2023) Chehria et al. (2021)
Ciberseguridad	Son las prácticas de protección de sistemas expuestos a los ataques digitales que pueden afectar datos y/o la producción de las empresas.	Criptografía y encriptación de datos, autenticación con distintos factores.	Medoh & Telukdarie (2022) Kaur et al. (2023)
Computación en la nube	Tecnologías que permiten acceder de forma remota a dispositivos, máquinas o programas almacenados en un data center, y hacer modificaciones e interacciones sin necesidad de estar desde una red o equipo local.	Computación compartida, procesamiento <i>Big Data</i> .	Thames & Schaefer (2016) Salis et al. (2023)
Manufactura aditiva	También conocida como impresión 3D, son nuevas técnicas de elaboración de productos y modelos que reducen costos y tiempos de producción.	Impresoras 3D, diseños CAD, simuladores de impresión.	Elhazmiri et al. (2022) Moshiri et al. (2020) Dilberoglu et al. (2017)
Realidad aumentada	Recurso tecnológico que ofrece experiencias que recrean escenarios, combinando los ámbitos físicos y virtuales.	Sensores de seguimiento de movimiento, <i>digital twin</i> , IoT, reconocimiento de objetos.	Jagtap et al. (2021) Mourtzis et al. (2022)

De manera complementaria, en la tabla 3 se presenta una comparación entre los principios y tecnologías de la Industria 4.0.

Tabla 3. Principios y tecnologías de la Industria 4.0.

Nombre	Definición del Principio	Tecnologías asociadas	Autor
Virtualización	Permite supervisar todo el sistema y adaptar nuevos sistemas, mediante herramientas de simulación o realidad aumentada.	Simulación, realidad aumentada, realidad virtual	Ghobakhloo (2018) Cañas et al. (2021) Akdil et al (2018) Dikhanbayeva et al. (2020)
Descentralización	Capacidad de las máquinas para tomar decisiones de forma independiente sin un comando central. La toma de decisiones se basa en el aprendizaje de los acontecimientos y acciones anteriores.	Análisis de datos, inteligencia artificial (IA), sensores y actuadores, RFID	Hermann et al. (2016) Cañas et al. (2021) Cohen et al. (2017) Akdil et al. (2018) Dikhanbayeva et al. (2020)
Trabajo en tiempo real	Capacidad de recolección y análisis de datos en tiempo real. Seguimiento y trazabilidad para reaccionar a la falla.	Análisis de datos, IA, sensores y actuadores, RFID, RTLS	Cohen et al. (2017) Akdil et al. (2018) Dikhanbayeva et al. (2020)
Orientación a Servicios	Funciones de los procesos con un conjunto de servicios, especialmente <i>web service</i> .	Análisis de datos, IA, computación en la nube	Akdil et al. (2018) Dikhanbayeva et al. (2020)
Modularidad / Agilidad	Flexibilidad del sistema ante requisitos cambiantes mediante la sustitución o módulos separados basados en interfaces estandarizadas de software y hardware.	Robótica, análisis de datos, IA, simulación, computación en la nube, manufactura aditiva, realidad aumentada, RFID, RTLS	Efatmaneshnik et al. (2018) Akdil et al. (2018) Dikhanbayeva et al. (2020)
Interoperabilidad	Implica la comunicación de componentes de sistemas ciberfísicos entre sí utilizando Internet Industrial y procesos regulares de normalización para crear una fábrica inteligente.	Tecnologías de comunicación y redes, ciberseguridad	Cañas et al. (2021) Cohen et al. (2017) Akdil et al. (2018) Dikhanbayeva et al. (2020)
Integración Horizontal y Vertical	Vínculo entre los sistemas físicos y las plataformas de software, habilitando un mecanismo de comunicación y coordinación de servicios.	Tecnologías de comunicación y redes, ciberseguridad, computación en la nube, sensores y actuadores, RFID	Tavcar et al. (2018) Cañas et al. (2021) Cohen et al. (2017) Akdil et al. (2018) Dikhanbayeva et al. (2020)

Los beneficios de la Industria 4.0 son el incremento de la productividad, eficiencia y flexibilidad, esto se da fundamentalmente por la facilidad de la toma de decisiones al tener la información en tiempo real que impactan beneficiosamente los procesos industriales que internamente se llevan a cabo en cada empresa. También se pueden generar mejoras en la calidad de los productos o servicios, minimizando los costos de producción u operación de las compañías. Sin embargo, existen riesgos en la Industria 4.0, estos desafíos son: la implementación de las nuevas formas de trabajar en las empresas y la estandarización de los procesos que se modifican o se crean, garantizar la seguridad y protección digital de toda la información que se procese, la inserción de las Pymes en las nuevas prácticas que trae la Industria 4.0 y la alfabetización de los trabajadores en cuanto a las herramientas que deberán usar en su día a día (Santos et al., 2018).

La educación en Ingeniería Industrial y su importancia en la Industria 4.0

Con la Industria 4.0, la formación de ingenieros industriales debe incluir habilidades en programación, análisis de datos y ciberseguridad. La colaboración academia-empresa es esencial para asegurar la relevancia y aplicabilidad de la educación en ingeniería, preparando a profesionales para liderar la innovación en la cuarta revolución industrial. La formación debe adaptarse a los cambios tecnológicos y fomentar alianzas academia-industria para mejorar la preparación de los estudiantes (Garcés & Peña, 2020).

Los escenarios educativos digitales demandan modelos flexibles que fomenten el aprendizaje colaborativo y reconozcan las diversas formas de aprendizaje. La inte-

racción y participación entre estudiantes y docentes son fundamentales para impulsar la búsqueda continua de conocimiento (Bañuelos-Marquez, 2020). La literatura destaca la importancia de elementos prácticos de la Industria 4.0 para el desarrollo de competencias, incluyendo análisis de sistemas de producción, herramientas de apoyo físico y digital, y gestión y análisis de datos. Además, se reconoce que la Industria 4.0 no solo exige cambios en las competencias técnicas, sino también una formación integral que incluya habilidades como aprendizaje continuo, resiliencia y liderazgo (Sackey et al., 2017), (Rüssmann et al., 2015), (Kreimeier et al., 2013), (González-Hernandez & Granillo-Macias, 2021), (Rojas-Arenas et al., 2021).

Una técnica útil para enfrentar estos desafíos es la gamificación, la cual tiene beneficios como la mejora en la motivación de los aprendices incentivando su participación activa en el juego y su compromiso, haciendo así que la extrapolación de los conceptos que parecen ser abstractos se vuelva más simples y se genera una mayor comprensión del tema que se esté tratando; también se mejoran las habilidades de los estudiantes en el área disciplinar (Belloti, 2014; Stefan et al., 2019).

3.2 Fase 2: *Beer Game* tradicional como estrategia de gamificación y su versión adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM

Materiales para el desarrollo de la estrategia

Para llevar a cabo el *Beer Game* tradicional se utiliza un tablero manual con el detalle de los roles, *lead time*, buzón para los pedidos y demás elementos gráficos para el detalle del SCM y ambientación de los participan-

tes. Además, se utilizan fichas de colores que simulan las cajas de cerveza, plantilla para el registro de inventarios. En el caso de esta estrategia de gamificación en versión adaptada, se cuenta con la Planta 4.0 simu-

ladora SCM, fichas con tecnología NFC, que representan cajas de cerveza: tres rojas (R), tres azules (A) y tres blancas (B), y equipo de cómputo (ver figura 1).



Figura 1. Materiales para el desarrollo de la estrategia de gamificación.

Roles y dinámica de la estrategia de gamificación

En el Beer Game tradicional se tienen cuatro roles: minorista, mayorista, distribuidor y planta de producción, que interactúan durante 32 rondas, simulando la demanda y registrando inventarios al final de cada ronda. Se utilizan representaciones físicas de cajas de cerveza, formatos específicos para cada rol y tarjetas en blanco para registrar deman-

das. El objetivo es minimizar inventarios y déficits acumulados. La versión adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM tiene tres roles: proveedor, planta y cliente, representando el flujo de productos en un ciclo de pedidos y entregas durante 10 rondas (ver figura 2). El cliente solicita a la planta, esta al proveedor, y el proveedor al cliente, mientras que el ciclo de entregas opera en sentido contrario para cumplir con los pedidos.

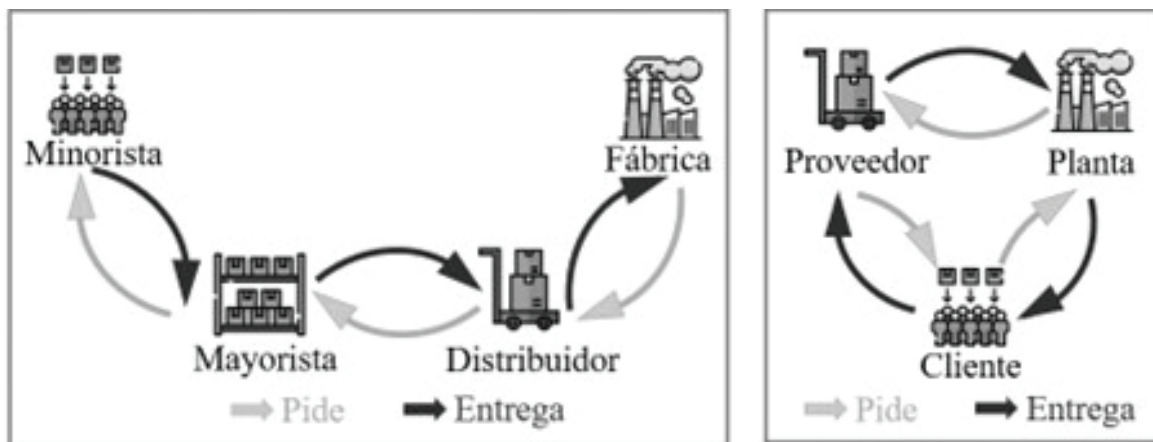


Figura 2. Roles y dinámica de la estrategia de gamificación.

Plantillas y formatos para la estrategia de gamificación de gamificación

En el *Beer Game* tradicional cada uno de los cuatro roles cuenta con una plantilla que posee los siguientes ítems: semana, inventario, déficit y orden (cantidad de cervezas a pedir) para 32 semanas (rondas). Al finalizar, en la plantilla se deja consignado el total de inventario, el total del déficit y la sumatoria de ambos resultados (ver figura 3). Para la versión adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM, se dispone de un tablero de control en línea llamado también *Dashboard*, en el cual se visualizan los diferentes indicadores de

operación, tales como cantidad de inventario, tiempos de entrada y salida de las fichas, secciones de planta en proceso, entre otros; además cada rol cuenta con una plantilla que posee los siguientes ítems: semana, inventario de las fichas de cada color, total de inventario, déficit de las fichas de cada color, total de déficit y orden para 10 semanas. Además, solo en el caso de la planta, la plantilla posee una columna de tiempo, el cual será calculado en cada ronda para conocer lo que tarda en procesar un pedido y estimar otro indicador al final de la estrategia de gamificación (ver figura 3).

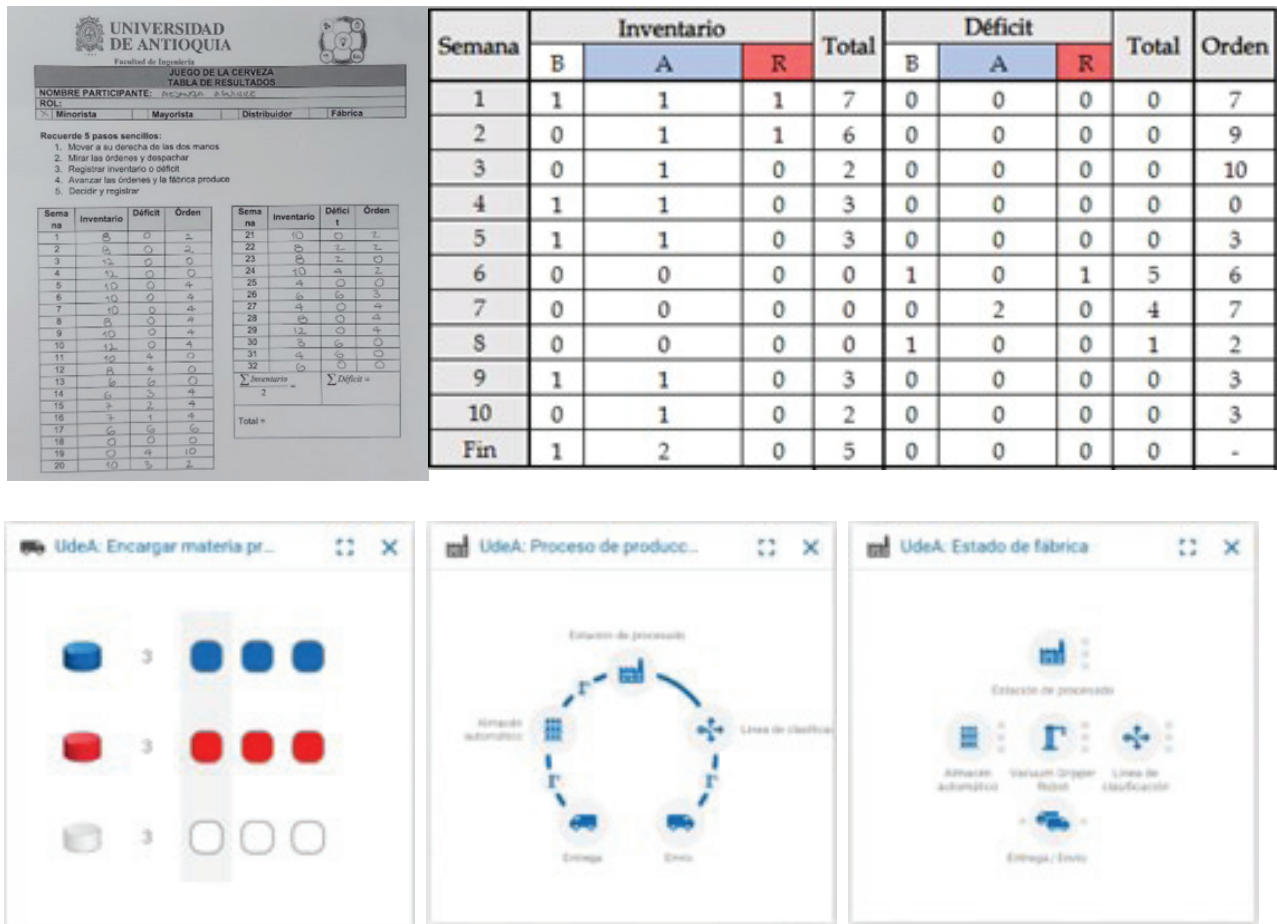


Figura 3. Plantillas y formatos para la estrategia de gamificación.

Variaciones de la estrategia de gamificación adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM

Para llevar a cabo la versión adaptada se deben considerar cinco aspectos: (i) Para las condiciones iniciales que dan comienzo al juego, se implementará lo planteado por Thompson y Badizadegan (2015), donde indican que cada rol (cliente, proveedor y planta) inicia con el mismo número de fichas en inventario; por lo tanto, para esta adaptación cada uno comienza con siete cervezas.

(ii) El número de semanas es de 10, es decir, el número de rondas que se jugarán. Este aspecto se define teniendo en cuenta la duración de la actividad y de una clase en la que se aplicaría esta estrategia de gamificación. (iii) Las fichas (B) equivalen a una cerveza, las (A) a dos y las (R) a cuatro. (iv) En cada ronda se pueden ordenar máximo 21 cervezas y, (v) Las órdenes del cliente son de manera aleatoria, para la primera ronda entre 0 y 8, para el resto de las rondas entre 0 y 14 (ver figura 4).

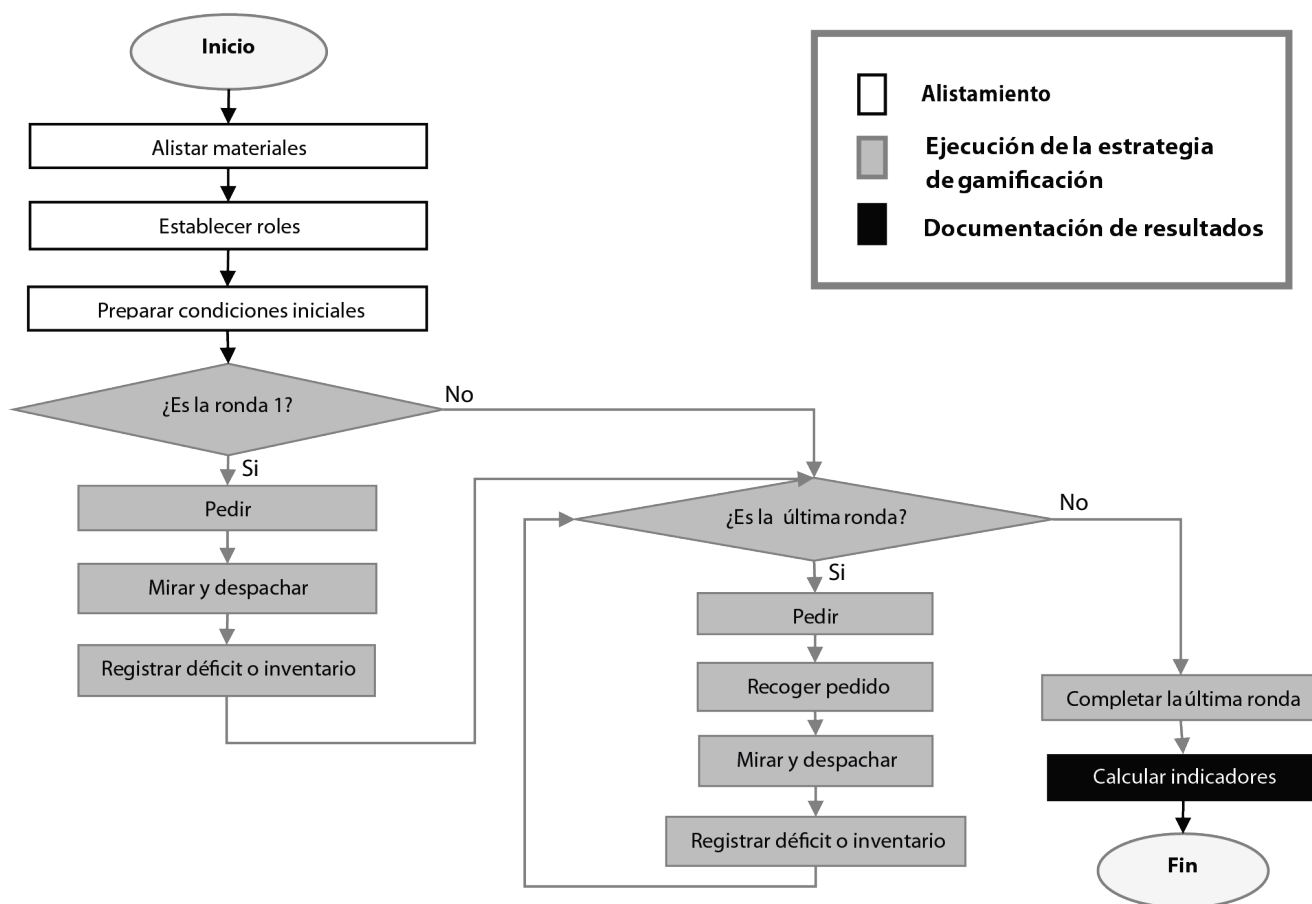


Figura 4. Diagrama de flujo para ejecución de la estrategia de gamificación.

Indicadores de la estrategia de gamificación en su versión adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM

Como se mencionó anteriormente, al finalizar en la plantilla de cada rol del *Beer Game*

tradicional, los únicos valores utilizados para el registro son el total de inventario, el total del déficit y la sumatoria de ambos resultados. Parte de la propuesta de la adaptación realizada a esta estrategia de gamificación en la Planta 4.0 simuladora SCM, es que al

finalizar se lleva a cabo el cálculo de ciertos indicadores adicionales para conocer, en primer lugar, la persona o equipo ganador (planta, proveedor y cliente). Estos indicadores también permiten retroalimentar a los jugadores para que comprendan conceptos de la gestión de la cadena de abastecimiento.

Los indicadores que se calculan están relacionados con el inventario, representados por las ecuaciones 1, 2 y 3, donde i = semanas y

n = total de semanas; por los costos con las ecuaciones 4, 5, 6 y 7, donde los costos están representados por s = pedido, h = almacenamiento, co = oportunidad, N = número de órdenes; y por el tiempo, con la ecuación 8, puesto que al utilizar la Planta 4.0 simuladora SCM, esta requiere un tiempo de producción, simulando diferentes procesos de manufactura, desde el ingreso de la materia prima hasta la entrega al cliente.

Total Inventario (TI)	$\sum_{i=1}^n \text{Inventario}_i / 2$	(1)
Total Déficit (TD)	$\sum_{i=1}^n \text{Déficit}_i$	(2)
Inventario Final (IF)	$TI + TD$	(3)
Costo de pedir (S)	$s \cdot N$	(4)
Costo de almacenar (H)	$h \cdot TI$	(5)
Costo de oportunidad (CO)	$co \cdot TD$	(6)
Costo total de inventario (CTI)	$S + H + CO$	(7)
Tiempo Total de producción (TT)	$\sum_{i=1}^n \text{Tiempo planta}_i$	(8)

El aprendizaje de esta estrategia de gamificación es la aplicación del concepto del efecto látigo, el cual es una distorsión o amplificación de la demanda que afecta el desempeño de una cadena de suministro, donde la variabilidad de la demanda aumenta a medida que es distribuida entre eslabones de la cadena (Romero-Rodríguez et al., 2016). Por consiguiente, durante la estrategia de gamificación se simula una cadena de suministro donde se van desplazando piezas que simbolizan la demanda, la cual es totalmente variable, traduciéndose en un aumento en la incertidumbre para quienes toman decisiones.

3.2. Fase 3: comparación del *Beer Game* tradicional y su versión adaptada de la Planta 4.0 simuladora SCM

Pruebas piloto para ambas estrategias de gamificación

En el marco de la evolución de la estrategia de gamificación, se implementó el *Beer Game* tradicional con un grupo de más de 30 participantes. Los resultados revelaron una percepción positiva en varios aspectos clave: (i) se observó un alto nivel de enseñanza de los conceptos teóricos entre los participantes, destacando la efectividad como herramienta

pedagógica. (ii) la similitud percibida entre la estrategia pedagógica y la realidad del sector productivo fue evaluada como alta. (iii) los participantes demostraron comprender la aplicación práctica de los conceptos teóricos en un entorno empresarial simulado, lo que sugiere que el *Beer Game* tradicional logró transmitir de manera efectiva los principios fundamentales. (iv) los participantes destacaron un desarrollo significativo de habilidades para la toma de decisiones. Este hallazgo resalta la utilidad de los juegos, estrategias lúdicas y de gamificación no solo como una herramienta educativa, sino también como un medio para cultivar habilidades de gestión y resolución de problemas.

Aproximadamente el 40% de los participantes señalaron la necesidad de conocimientos previos para participar en la actividad, indicando que algunos aspectos podían resultar desafiantes para aquellos sin experiencia previa en los temas abordados. Asimismo, el 77% de los participantes identificó el uso de habilidades blandas durante el desarrollo, subrayando la importancia de estas habilidades en un contexto empresarial.

La variante del *Beer Game* adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM, presentó notables diferencias y mejoras con respecto al juego tradicional. Se aprecia que se han acentuado aspectos específicos para potenciar ciertos objetivos pedagógicos y proporcionar una experiencia más inmersiva. En comparación con el *Beer Game* tradicional, en la Planta 4.0 simuladora SCM un énfasis particular es que se destaca más el desarrollo de habilidades blandas. Este resultado sugiere que la nueva variante ha logrado incorporar de manera más efectiva elementos que fomentan la comunicación, el trabajo en equipo y la adaptabilidad, habilidades esenciales en entornos empresariales modernos. Adicionalmente,

se observó que la variante requiere un mayor nivel de conocimientos previos para participar, según la percepción de los participantes. Este cambio puede atribuirse a la complejidad añadida o a la introducción de elementos específicos de la Industria 4.0 en la simulación.

En cuanto a los tiempos de la estrategia de gamificación, se observó un aumento en el tiempo total de juego, pasando de un tiempo promedio de 32.3 minutos en el *Beer Game* tradicional a 51.3 minutos en su versión adaptada de la Planta 4.0 simuladora SCM. Este aumento es atribuible a la implementación de la planta, en la que se debe esperar que cada ciclo de cada pieza termine completamente en algunas estaciones, además de las latencias experimentadas por la planta en su conexión con el tablero de control.

Innovación y propuesta de valor de la estrategia de gamificación adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM

Una de las propuestas de adaptación del *Beer Game*, es la posibilidad de generar diferentes escenarios de simulación, que con el *Beer Game* tradicional no podría realizarse de considerarse el estándar (ver tabla 4). Con este fin, se toman tres escenarios para la estrategia de gamificación adaptada a la Planta 4.0 simuladora SCM, considerando: (i) 10 semanas de rondas; (ii) Resultados de los inventarios; (iii) Costo total de inventario considerando los siguientes datos de costos supuestos: costo de hacer un pedido = \$5, el costo de almacenar una unidad = \$0.70, el costo de oportunidad de una unidad = \$15, (iv) Tiempos de producción en el rol de la planta, y (v) las Ecuaciones (E) para los indicadores.

Tabla 4. Análisis de escenarios para la Planta 4.0 simuladora SCM.

Roles	Escenario 1			Escenario 2			Escenario 3		
	Cliente	Planta	Provee.	Cliente	Planta	Provee.	Cliente	Planta	Provee.
Condiciones iniciales: distribución de las 21 cervezas	1(B) 1(A) 1(R)	0(B) 0(A) 0(R)	2(B) 2(A) 2(R)	1(B) 1(A) 1(R)	1(B) 1(A) 1(R)	1(B) 1(A) 1(R)	1(B) 1(A) 1(R)	0(B) 0(A) 0(R)	2(B) 2(A) 2(R)
TI (und.): E (1)	15.5	19.5	23.5	27.5	11.5	18.5	16.5	38.5	3.5
TD (und.): E (2)	10	21	12	2	3	4	12	6	6
IF (und.): E (3)	25.5	40.5	35.5	29.5	14.5	22.5	28.5	44.5	9.5
IF Total por Escenario (und.)		101.5			66.5			82.5	
S (\$): E (4)	\$45	\$45	\$45	\$50	\$45	\$45	\$50	\$45	\$45
H (\$): E (5)	\$10.85	\$13.65	\$16.45	\$19.25	\$8.05	\$12.95	\$11.55	\$26.95	\$2.45
CO (\$): E (6)	\$150	\$315	\$180	\$30	\$45	\$60	\$180	\$90	\$90
CTI (\$): E (7)	\$205.85	\$373.65	\$241.45	\$99.25	\$98.05	\$117.95	\$241.55	\$161.95	\$137.45
CTI por Escenario (\$)		\$820.95			\$315.25			\$540.95	
TT (min.): E (8)	-	47:14:1	-	-	55:37:3	-	-	52:46:5	-

Con los resultados de la tabla 4, se podrían generar mejores escenarios. Considerando el inventario final, el Escenario 2 resulta ser el más adecuado con una reducción del 65.52% sobre el mayor valor de ese escenario, en el cual el rol de la planta fue la que obtuvo los mejores resultados. Asimismo, el Escenario 2 al considerar los costos totales también resulta ser el más adecuado con una reducción del 38.40% sobre el mayor valor de ese esce-

nario, siendo igualmente el rol de la planta el que tiene menores costos. Finalmente, de considerar el tiempo de producción en el rol de la planta, el Escenario 1 es el más adecuado con una reducción del 85.45% sobre el mayor valor de ese escenario.

Para cerrar la fase 3, se presenta la tabla 5 con las principales comparaciones de esta estrategia de gamificación.

Tabla 5. Comparativo *Beer Game* tradicional vs. *Beer Game* adaptado.

Consideraciones	<i>Beer Game</i> tradicional	<i>Beer Game</i> adaptado
Materiales	Tablero manual	Planta 4.0 simuladora SCM
Roles	4	3
Plantillas y formatos	Plantilla manual	Plantilla en línea. Tablero de control
Condiciones iniciales	Fijas	Escenarios variables
Tiempo de desarrollo promedio	32.3 minutos	51.3 minutos
Indicadores	3	8
Evaluación de costos	No	Si
Nivel de conocimientos previos	Bajo	Alto
Logro de competencias blandas	Toma de decisiones, resolución de problemas	Comunicación, trabajo en equipo, adaptabilidad
Realidad del sector productivo	Medio	Alto
Aplicaciones de Industria 4.0	No	Si

3.3. Fase 4: análisis de principios, pilares y tecnologías de la Industria 4.0 en la Planta 4.0 simuladora SCM

En línea con Gilchrist (2016), la Industria 4.0 hace referencia a la mecanización, la electricidad y las tecnologías de la información (tres primeras revoluciones) la cuarta siendo diferente, busca fusionar los mundos físicos, digitales y biológicos. Schlaepfer et al. (2015), enfatizan en el papel de las tecnologías expo-

nenciales como solución para diferentes sectores productivos. Bajo este contexto, surge la oportunidad de priorizar e identificar cómo aplican los principios, pilares y tecnologías de la Industria 4.0 (ver tablas 2 y 3), a la Planta 4.0 simuladora SCM. Para ello se generó un cruce entre conceptos valorando su nivel de relación en una escala de 1 a 5, siendo 5 una relación muy alta y 1 una relación muy baja (ver figura 5).

Tecnología [T]		Pilares [P]		Principios [Pr]		Nivel de relación	
Blockchain	T1	Big Data	P1	Virtualización	Pr1	Muy Alta	5
Impresoras 3D	T2	Robótica	P2	Descentralización	Pr2	Alta	4
Simulación	T3	Simulación	P3	Trabajo en tiempo real	Pr3	Media	3
Análisis de datos	T4	Integración horizontal/vertical	P4	Orientación a Servicios	Pr4	Baja	2
Robótica	T5	IoT	P5	Modularidad/Agilidad	Pr5	Muy baja	1
IoT	T6	Computación en la nube	P6	Interoperabilidad	Pr6		
Sistemas RFID	T7	Manufactura aditiva	P7	Integración horizontal/vertical	Pr7		
Inteligencia Artificial	T8	Realidad aumentada	P8				
Computación en la r	T9	Ciberseguridad	P9				

Figura 5. Nomenclatura y escala de valoración para el Nivel de relación.

Tecnologías

En relación con las tecnologías, y luego de la construcción de la matriz de cruce, se evidencia que las relaciones potenciales se

enmarcan en IA, IoT, computación en la nube, simulación, robótica y análisis de datos, como lo muestra la tabla 6. La valoración promedio califica estas relaciones con un nivel de 4.0 (alto) y una participación del 34.7%.

Tabla 6. Pareto para las tecnologías.

	T	Nivel	% Relación	Relación	Relac. Acum	% Part.	% Acum.
Tecnologías 34.7%	T8	4.2	4.3	100	100	12.5	12.5
	T6	4.1	4.3	99	198	12.3	24.7
	T9	4.1	4.2	97	296	12.1	36.9
	T3	3.9	4.1	94	390	11.8	48.6
	T5	3.9	4.0	92	482	11.5	60.2
	T4	3.8	3.9	90	572	11.2	71.4
	T1	3.3	3.5	80	651	10.0	81.3
	T7	3.2	3.4	79	731	9.9	91.2
	T2	2.9	3.1	71	801	8.8	100.0
				801		100.0	

Pilares

En relación con los pilares, y luego de la construcción de lamatriz de cruce, se evidencia que las relaciones potenciales se enmarcan en IoT, computación en la nube, integración

horizontal/vertical, *Big Data*, robótica y simulación, como lo muestra la tabla 7. La valoración promedio califica estas relación con un nivel 4.0 (alto) y una participación del 35.2%.

Tabla 7. Pareto para los pilares.

	Nivel	% Relación	Relación	Relac. Acum	% Part.	% Acum.	
Pilares 35.2%	P5	4.3	4.4	103	103	12.6	12.6
	P6	4.1	4.3	98	201	12.1	24.7
	P4	4.0	4.1	95	296	11.7	36.4
	P1	3.9	4.0	93	388	11.4	47.8
	P2	3.8	4.0	91	480	11.2	59.0
	P3	3.8	3.9	91	570	11.2	70.2
	P9	3.4	3.6	83	653	10.2	80.4
	P8	3.3	3.6	82	735	10.1	90.5
	P7	3.2	3.4	78	812	9.5	100.0
			812		100.0		

Principios

En relación con los principios, y luego de la construcción de la matriz de cruce, se evidencia que las relaciones potenciales se enmarcan en trabajo en tiempo real, modularidad/

agilidad, integración horizontal/vertical, interoperabilidad y virtualización, como lo muestra la tabla 8. La valoración promedio califica estas relaciones con un nivel de 4.2 (alto) y una participación del 30.1%.

Tabla 8. Pareto para los principios.

	Nivel	% Relación	Relación	Relac. Acum	% Part.	% Acum.	
Principios 30.1%	Pr3	4.4	4.5	105	105	15.1	15.1
	Pr5	4.3	4.4	103	207	14.8	29.9
	Pr7	4.2	4.4	102	309	14.7	44.5
	Pr6	4.2	4.4	101	410	14.5	59.1
	Pr1	4.0	4.1	95	505	13.7	72.8
	Pr4	4.0	4.1	95	600	13.7	86.5
	Pr2	4.0	4.1	94	693	13.5	100.0
			693		100.0		

A continuación, se describe cómo se aplican los principios, pilares y tecnologías de la Industria 4.0 a la Planta 4.0 simuladora SCM, a

partir del análisis de principios, tecnologías, pilares y la priorización de las relaciones potenciales realizado anteriormente:

IA [T]: los algoritmos internos de la Planta 4.0 simuladora SCM permiten el diseño de un sistema productivo, que presenta las mismas capacidades a escala de una línea de SCM sin el requerimiento de personas para la toma de decisiones, representando tareas que realizaría un proceso real. Además de la generación de datos que son de fácil almacenamiento, y que pueden ser usados posteriormente para entrenamiento de modelos supervisados o no supervisados que también ayuden a tomar mejores decisiones.

(ii) IoT [T], [P]: la Planta 4.0 simuladora SCM dispone de una red local de objetos físicos con software, sensores, y otros dispositivos, como lo son sus estaciones de trabajo que se comunican entre sí y a su vez con el tablero de control que permiten una interacción total de la Planta 4.0 simuladora SCM mediante Internet. Lo anterior se logra gracias a la integración de su propio *router*, que proporciona una red propia (mediante un *hotspot*) a las estaciones de trabajo.

(iii) Computación en la nube [T], [P]: la Planta 4.0 simuladora SCM está compuesta por tecnologías que permiten acceder de forma remota a dispositivos o programas que almacenan, recopilan y reproducen gráficamente a través de un data center (Alemania) y a la que puede accederse a los datos de los sensores, los cuales se pueden supervisar de forma permanente y controlar remotamente los ejes de movimiento de la cámara orientable, todo esto por medio de la interfaz del usuario, el denominado tablero de control.

(iv) Simulación [T], [P]: es uno de sus fundamentos, gracias a los modelos computacionales reales permite emular todo el ciclo de producción de una pieza por los diferentes procesos de SCM, siendo un método de enseñanza y aprendizaje para la predicción y análisis de escenarios.

(v) Robótica [T], [P]: la planta dispone de 6 controladores digitales que permiten y sincronizan los movimientos y simulación del proceso usando el principio maestro-esclavo, dando posibilidad a la automatización, ya que permite representar la planta con los diferentes módulos. Los controladores cuentan con un sistema operativo basado en Linux, programados en Python, con compilador C/C++. También cuenta con pantalla táctil de 2.4" para una mayor facilidad al usar la Planta 4.0 simuladora SCM.

(vi) Análisis de datos [T]: a través de la digitalización se permite el registro y almacenamiento de la información generada por los sensores (cámara, NFC, sensor de luz, calidad de aire) para posteriormente generar métricas, indicadores, seguimiento y análisis.

(vii) Integración horizontal/vertical [P], [Pr]: la integración horizontal se refiere a la interconexión de máquinas, procesos de ingeniería y dispositivos conectados a internet que hacen parte de los procesos básicos de la Planta 4.0 simuladora SCM. La integración vertical se refiere a la circulación ágil de información en la estructura jerárquica de la empresa, mediante tecnologías con el fin de una toma de decisiones acertada y efectiva.

(viii) *Big Data* [P]: la aplicación se da gracias a la recopilación, análisis y manipulación masiva de datos para una posterior toma de decisiones, de acuerdo con los hallazgos y el objetivo establecido desde la primera corrida de la Planta 4.0 simuladora SCM. Los datos se almacenan en el tablero de control con el que cuenta la planta y están disponibles para su descarga en formato CSV, que permite llevar los datos a lenguajes como SQL, R o Python y extraer más información de ellos.

(ix) Trabajo en tiempo real [Pr]: los datos se almacenan en la nube en tiempo real, la cámara va registrando los movimientos, los cuales permiten enrutar la máquina en caso de ser requerido, además de que los pedidos que se realizan durante el juego se deben hacer mediante el tablero de control.

(x) Modularidad/Agilidad [Pr]: las piezas (R), (A) y (B) utilizadas para simular el proceso productivo, se pueden intercambiar y ajustar de acuerdo con el objetivo de la práctica de aprendizaje, de forma que se pueda llevar registros ajustados y flexibles para la generación de escenarios.

(xi) Interoperabilidad [Pr]: se evidencia en la Planta 4.0 simuladora SCM una comunicación de los software, hardware, robots, sensores, componentes de sistemas ciberfísicos entre sí para procesos regulares de normalización y con ellos crear una fábrica inteligente.

(xii) Virtualización [Pr]: de la mano de computación en la nube se logra supervisar todo el sistema, utilizando herramientas de simulación y robótica.

4. Conclusiones

La adaptación del *Beer Game* aplicado usando la Planta 4.0 simuladora SCM fue un proceso meticuloso que involucró varias fases de diseño y ajuste. En un conjunto de reuniones estratégicas, se inició con el conocimiento del funcionamiento de la planta simuladora, para luego ir implementando gradualmente las acciones típicas del juego tradicional. Estas sesiones iniciales sirvieron como campo de pruebas, permitiendo identificar de manera proactiva los aspectos que requerían ajustes y refinamientos. A través de ensayos y errores, se trabajó en la optimización de los formatos y formas de juego para lograr una representación más fiel de los desafíos relacionados a la Industria 4.0. Una de las decisiones clave fue la eliminación de una estación en esta nueva propuesta del *Beer Game*, una modificación que buscaba adaptar la Planta 4.0 simuladora SCM a las necesidades del juego. Estas adaptaciones fueron objeto de discusión en reuniones posteriores, donde también se exploraron las relaciones entre la planta, los principios de la Industria 4.0 y las tecnologías emergentes aplicadas al contexto del juego.

En términos generales, lo observado en los demás indicadores en la variante del *Beer Game* en la Planta 4.0 simuladora SCM fue alta en todos los demás indicadores evaluados, incluyendo la enseñanza de conceptos teóricos, la similitud con la realidad del sector productivo y el desarrollo de habilidades para la toma de decisiones al tener una planta que simula la realidad involucrada en el juego. Estos resultados sugieren que la variante del *Beer Game* en la Planta 4.0 simuladora SCM puede ofrecer una experiencia de aprendizaje más completa y alineada

con las demandas actuales del entorno industrial, proporcionando una valiosa herramienta para la formación integral de los participantes.

La propuesta innovadora logra no solo potenciar habilidades no técnicas en los estudiantes de Ingeniería Industrial mediante el aprendizaje basado en juegos, sino que también, de manera novedosa, se alinea con las tendencias tecnológicas. Esta iniciativa fortalece desde la academia las competencias en transformación digital, asegurando una integración efectiva con las necesidades del sector productivo.

Para responder a la pregunta de investigación propuesta en este artículo, se tiene que si bien la Planta 4.0 simuladora SCM no está diseñada para el *Beer Game*, por tratarse de una máquina a escala de un proceso productivo representando un aprendizaje estándar, esta propuesta de adaptación resulta novedosa gracias a la posibilidad de brindar alternativas interinstitucionales a integrantes de la comunidad académica. Esto se logra utilizando el tablero de control suministrado por el proveedor, que puede conectarse en línea de forma local y nacional con otros laboratorios que dispongan del mismo equipo, con el fin de brindar oportunidad de ampliación en capacidad de juego. La importancia e implicaciones prácticas y teóricas de la propuesta también se evidencia en el paso a paso generado para el fortalecimiento de conceptos del SCM, disminuyendo la brecha entre los fundamentos de los principales eslabones y sus aplicaciones básicas a través de indicadores de monitoreo.

Una de las oportunidades de este trabajo es la posibilidad de continuar vivenciando las

dinámicas de la cadena de abastecimiento a través de la gamificación, al identificar las condiciones iniciales óptimas del *Beer Game*, considerando la simulación de todos los escenarios posibles usando un lenguaje de programación libre. Este enfoque no solo propone una aproximación valiosa a la transformación digital, sino que fortalece las competencias que los profesionales de Ingeniería Industrial requieren para aplicar tecnologías actualizadas en un mundo globalizado.

Contribución de los autores

Yenny Alejandra Aguirre-Alvarez: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Carmen Elena Patino-Rodríguez: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, supervisión, validación, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Catalina María Maya-Iregui: conceptualización, metodología, validación, visualización, redacción – borrador original.

Emmanuel Bolívar-Torres: conceptualización, investigación, metodología, software, validación, redacción – borrador original.

Implicaciones éticas

No existen implicaciones éticas por declarar en la escritura o publicación de este artículo.

Financiación

Los autores no recibieron recursos para la escritura o publicación de este artículo.

Conflictos de interés

No existen conflictos de interés de parte de los autores en la escritura o publicación de este artículo.

5. Referencias

Abideen, A. Z., Sorooshian, S., Kaliani Sundram, V. P., & Mohammed, A. (2023). Collaborative insights on horizontal logistics to integrate supply chain planning and transportation logistics planning – A systematic review and thematic mapping. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9(2), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100066>

Akdil, K. Y., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). Chapter 4. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. En A. Ustundag, & E. Cevikcan, *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*, 61-94. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_4

Andino, R. M. (2006). Cadena de Suministro (SCM). EOI.

Arias C., G. (2007). Adaptación guía de laboratorio Beer Game. Cali: Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Occidente.

Bañuelos-Marquez, A. M. (2020). Educación 4.0 en las instituciones universitarias. En H. H. Brabantplein, REDINE (Coord.), *Contribuciones de la tecnología digital en el desarrollo educativo y social*, 70-79. Adaya Press.

Baratta, A., Cimino, A., Gnoni, M. G., & Longo, F. (2023). Human Robot Collaboration in Indus-

try 4.0: a literature review. *Procedia Computer Science*, 217, 1887-1895. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.389>

Belloti, F. (2014). Entre bien común y buen vivir. Afinidades a distancia. *Iconos. Revista de Ciencias Sociales*, (48), 41-54. <https://doi.org/10.17141/iconos.48.2014.1208>

Berges, I., Ramírez-Durán, V. J., & Illarramendi, A. (2021). A Semantic Approach for Big Data Exploration in Industry 4.0. *Big Data Research*, 25, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100222>

Cañas, H., Mula, J., Díaz-Madroñero, M., & Campuzano-Bolarín, F. (2021). Implementing Industry 4.0 principles. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107379>

Chaharsooghi, S. K., Heydari, J., & Zegordi, S. H. (2008). A reinforcement learning model for supply chain ordering management: An application to the beer game. *Decision Support Systems*, 45 (4), 949–959. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.03.007>

Chehria, A., Zimmermann, A., Schmidt, R., & Masuda, Y. (2021). Theory and Practice of Implementing a Successful Enterprise IoT Strategy in the Industry 4.0 Era. *Procedia Computer Science*, 192 (10), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.239>

Cimino, A., Gnoni, M., Longo, F., Barone, G., Fedele, M., & LePiane, D. (2023). Modeling & Simulation as Industry 4.0 enabling technology to support manufacturing process design: A real industrial application. *Procedia Computer Science*, 217 (14), 1877-1886. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.388>

Cimino, C., Leva, A., Negri, E., & Macchi, M. (2020). An integrated simulation paradigm for lifecycle-covering maintenance in the Industry 4.0 context. *IFAC-PapersOnLine*, 53 (3), 307-312. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.11.049>

- Cohen, Y., Faccio, M., Galizia, F. G., Mora, C., & Pilati, F. (2017). Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms. *IFAC-PapersOn-Line*, 50(1), 14958-14963. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2550>
- Dikhanbayeva, D., Shaikholla, S., Suleiman, Z., & Turkyilmaz, A. (2020). Assessment of Industry 4.0 Maturity Models by Design Principles. *Sustainability*, 12(23), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su12239927>
- Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545-554. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>
- Efatmaneshnik, M., Shoal, S., & Qiao, L. (2018). A standard description of the terms module and modularity for systems engineering. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 67(2), 365-375. <https://doi.org/10.1109/TEM.2018.2878589>
- Elhazmiri, B., Naveed, N., Anwar, M. N., & Haq, M. I. (2022). The Role of Additive Manufacturing in Industry 4.0: An Exploration of Different Business Models. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 317-329. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.07.001>
- Ferreira, W. d., Armellinia, F., & Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106868>
- Garcés, G., & Peña, C. (2020). Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 19(40), 129-148. <https://doi.org/10.21703/rexe.20201940garces7>
- Garghetti, F., Grasso, M., Pacella, M., Fogliazza, G., & Colosimo, B. M. (2023). Multi-stream big data mining for industry 4.0 in machining: novel application of a Gated Recurrent Unit Network. *Procedia CIRP*, 118, 431-436. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.074>
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 1-10. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things* (1a ed.). Apress.
- González-Hernandez, I. J., & Granillo-Macias, R. (2021). Competencias del ingeniero industrial en la Industria 4.0. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 22(30), 1-14. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e30.2750>
- Greco, L., Maresca, P., & Caja, J. (2019). Big Data and Advanced Analytics in Industry 4.0: a comparative analysis across the European Union. *Procedia Manufacturing*, 41, 383-390. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.023>
- Haleem, A., Javaid, M., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Telemedicine for Healthcare: Capabilities, Features, Barriers and Applications. *Sensors International*, 2, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100117>
- Han, A., Ge, J., & Lei, Y. (2016). Vertical vs. horizontal integration: Game analysis for the rare earth industrial integration in China. *Resources Policy*, 50, 149-159. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2016.09.006>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *Proceedings of 49th Hawaii International Conference on System Sciences HICSS, Koloa*, 3928-3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Hernández-Betancur, J. E., Montoya-Restrepo, I., & Montoya-Restrepo, L. A. (2018). Strategic decision-moment: Beer game comparison between two colombian universities. *The International*

- Journal of Management Education*, 16 (3), 504-514. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2018.10.001>
- Jagtap, S., Saxena, P., & Salonitis, K. (2021). Food 4.0: Implementation of the Augmented Reality Systems in the Food Industry. *54th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 104, 1137-1142. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.191>
- Kaur, R., Gabrijelčič, D., & Klobučar, T. (2023). Artificial intelligence for cybersecurity: Literature review and future research directions. *Information Fusion*, 97, 1-29. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.101804>
- Kimbrough, S. O., & Fang-Zhong, D. W. (2002). Computers Play the Beer Game: Can Artificial Agents Manage Supply Chains? *Decision Support Systems*, 33 (3), 323-333. [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(02\)00019-2](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(02)00019-2)
- Kreimeier, D., Morlock, F., Prinz, C., & Pollmann, J. (2013). Praktisches Lernen in einer Fertigungsumgebung - Lernfabrik vermittelt Ganzheitliche Produktionssysteme und Lean Managements. *Industrial Ingeniering* 2013, 26-29.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6 (4), 239-242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- León-García, O. A., & Bermúdez-Segura, M. Y. (2021). Barriers and driving forces for the implementation of Industry 4.0 in organizations: a state of the art. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11 (3), 451-466. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n3.2021.13343>
- Marlés-Betancourt, C., Hermosa-Guzmán, D., & Correa-Cruz, L. (2021). Fomento de la conciencia hídrica en estudiantes universitarios mediante un juego como estrategia didáctica. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(2), 361-372. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n2.2021.12655>
- Martínez-Ruiz, X. (2019). Disrupción y aporía: de camino a la educación 4.0. *Innovación Educativa*, 19 (80), 7-12.
- Medoh, C., & Telukdarie, A. (2022). The Future of Cybersecurity: A System Dynamics Approach. *Procedia Computer Science*, 200, 318-326. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.230>
- Moshiri, M., Charles, A., Elkaseer, A., Scholz, S., Mohanty, S., & Tosello, G. (2020). An Industry 4.0 framework for tooling production using metal additive manufacturing-based first-time-right smart manufacturing system. *53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems*, 93, 32-37. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.151>
- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N. (2022). A Literature Review of the Challenges and Opportunities of the Transition from Industry 4.0 to Society 5.0. *Energies*, 15 (17), 1-29. <https://doi.org/10.3390/en15176276>
- Mustafee, N., & Katsaliaki, K. (2010). The blood supply game. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, 327-338. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679151>
- Ribeiro, J., Lima, R., Eckhardt, T., & Paiva, S. (2021). Robotic Process Automation and Artificial Intelligence in Industry 4.0 – A Literature review. *Procedia Computer Science*, 181, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.104>
- Rodríguez-Villalobosa, A., & Sempere-Ripoll, F. (2015). Implexa - Mucho más que el clásico juego de la cerveza. *INNODOCT*, 232-241. <http://dx.doi.org/10.4995/innodoct.2015.111>
- Rojas-Arenas, I. D., Jiménez-Medina, E., & Yepes-Callejas, R. (2021). Competencias Profesionales e Industria 4.0. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 14 (2), 169-194. <https://doi.org/10.15332/25005421.6299>
- Romero-Rodríguez, D., Aguirre-Acosta, R., Polo-Obregón, S., Sierra-Altamiranda, Á., & Daza-Escorcía, J. M. (2016). Medición del efecto látigo en

redes de suministro. *Ingeniare*, 20, 13-32. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.20.406>

Rüssmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (Septiembre de 2015). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. <https://www.bcg.com/publications>

Sackey, S., Bester, A., & Adams, D. (2017). Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa. *South African Journal of Industrial Engineering*, 28 (1), 114-124. <https://doi.org/10.7166/28-1-1584>

Salis, A., Marguglio, A., De Luca, G., Razzetti, S., Quadrini, W., & Gusmeroli, S. (2023). An Edge-Cloud based Reference Architecture to support cognitive solutions in Process Industry. *Procedia Computer Science*, 217, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.198>

Santos, B., Alberto, A., Lima, T., & Charrua-Santos, F. (2018). Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 4 (1), 111-124. <https://doi.org/10.32358/rpd.2018.v4.316>

Schlaepfer, R. C., Koch, M., & Merkofer, P. (2015). Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Deloitte.

Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Artificial intelligence, machine learning and deep learning in advanced robotics, a review. *Cognitive Robotics*, 3, 54-70. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2023.04.001>

Ştefan, U. S., Hauge, J. B., Hasse, F., & Ştefan, A. (2019). Using Serious Games and Simulations for Teaching Co-Operative Decision-making. *Procedia Computer Science*, 162, 745-753. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.046>

Tavcar, J., Duhovnik, J., & Horvath, I. (2018). Towards validation of smart cyber-physical systems. *Proceedings of the twelfth International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2018*, 17-26.

Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-Defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>

Thompson, K. M., & Badizadegan, N. D. (2015). Valuing Information in Complex Systems: An Integrated Analytical Approach to Achieve Optimal Performance in the Beer Distribution Game. *Business, Economics, Computer Science*, 2677-2686.

Vergara-Pareja, C. M., Nielsen-Niño, J. B., & Niño-Vega, J. A. (2021). La gamificación y el fortalecimiento de la habilidad oral en inglés a niños de primera infancia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11 (3), 569-578. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n3.2021.13355>

Witkowski, K. (2017). Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 - Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering*, 182, 763-769. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>

