

09-028

### **ERP SIMULATOR AND AUGMENTED REALITY FOR THE MANAGEMENT AND EVALUATION OF PROJECTS IN THE TEC21 MODEL**

González Almaguer, Carlos Alberto (1); Saavedra Gastélum, Verónica (1); Pérez Murueta, Pedro Oscar (1); Fukumura Pérez, Hugo Kenji (1); Zubieta Ramírez, Claudia (1)

(1) Tecnológico de Monterrey

The management and evaluation of projects is an art, teaching this art in educational projects is a challenge. Students are required to have a specific vision of the organizations to be able to define both the problem and with this, define the project that solves the problem, the visits and interaction with the organizations allow students to have the context to generate their project. Due to the confinement by Covid19, educational innovations were generated that allowed simulating the car manufacturing process, as well as the transactions carried out in the different entities of the organization through an online ERP simulator called VEP (Virtual Enterprise Planning) and the use of mixed reality lessons (virtual and augmented). In the simulation, it was possible to replicate problems that had to be solved with a project, which was designed and managed by the students. In this paper, we share the methodologies for the design of learning activities and the preparation of lessons in virtual and augmented reality, as well as the results obtained in their application in administration and project management courses.

Keywords: Educational\_Innovation; Mix\_Reality; Project\_Management; ERP\_Simulator

### **SIMULADOR ERP Y REALIDAD AUMENTADA PARA LA GESTIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS EN EL MODELO TEC21**

La administración y evaluación de proyectos es un arte, enseñar este arte en los proyectos educativos es todo un reto. Se requiere que los alumnos tengan una visión específica de las organizaciones para poder definir tanto el problema y con esto, definir el proyecto que soluciona el problema, las visitas e interacción con las organizaciones permite a los alumnos tener contexto para generar su proyecto. Debido al confinamiento por Covid19, se generaron innovaciones educativas que permitieran simular el proceso de fabricación de autos, así como las transacciones realizadas en las diferentes entidades de la organización a través de un simulador ERP en línea llamado VEP (Virtual Enterprise Planning) y el uso de lecciones de realidad mixta (virtual y aumentada). En la simulación se pudieron replicar problemas que se debían solucionar con un proyecto, el cuál era diseñado y gestionado por los alumnos. En el presente paper, compartimos las metodologías para el diseño de las actividades de aprendizaje y la elaboración de las lecciones en realidad virtual y aumentada, así como los resultados obtenidos en su aplicación en los cursos de administración y gestión de proyectos.

Palabras clave: Innovación\_educativa; Realidad\_Mixta; Gestión\_de\_Proyectos; Simulador\_ERP

Correspondencia: Carlos Alberto Gonzalez Almaguer. Correo: cgonzalz@tec.mx

Agradecimientos: Los autores desean agradecer el apoyo financiero y técnico de Writing Lab, Institute for the Future of Education, Tecnológico de Monterrey, México, en la producción de este trabajo.



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## **1. Introducción**

La administración y evaluación de proyectos es un arte, enseñar este arte en los proyectos educativos es todo un reto. Se requiere que los alumnos tengan una visión específica de las organizaciones para poder definir tanto el problema y con esto, definir el proyecto que soluciona el problema, las visitas e interacción con las organizaciones permite a los estudiantes tener contexto para generar su proyecto.

Debido al confinamiento por Covid19, se generaron innovaciones educativas en los centros educativos de todo el mundo, en la escuela de Ingeniería Industrial del Tecnológico de Monterrey ese reto lo enfrentamos a través de una plataforma que permitiera simular el proceso de fabricación de autos, así como las transacciones realizadas en las diferentes entidades de la organización a través de un simulador ERP en línea llamado VEP (Virtual Enterprise Planning) y el uso de lecciones de realidad mixta (virtual y aumentada). En la simulación se pudieron replicar problemas que se debían solucionar con un proyecto, el cuál era diseñado y gestionado por los alumnos, esto acorde al modelo educativo Tec21 en el cuál nos enfocamos a al desarrollo de competencias de aprendizaje más dejando a un lado el aprendizaje por objetivos (Instituto para el futuro de la educación 2020)

## **2. Desarrollo.**

El presente trabajo está documentado como un ensayo científico y está dividido en 4 etapas, que van desde su concepción en un juego de mesa en que los alumnos resolvían problemas que se presentan en una administración ERP (Enterprise Resource Planning) hasta un simulador en línea que se apoya en lecciones de realidad aumentada y virtual para potencializar el aprendizaje.

Este desarrollo fue diseñado como apoyo de aprendizaje a las unidades de formación de la carrera de ingeniería industrial y de sistemas, como son Análisis y Diseño de Experimentos, Ingeniería Estadística, Administración de la Producción, Diseño de Sistemas Logísticos, Control Estadístico de Calidad y Administración y Evaluación de Proyectos.

### **2.1 Objetivo.**

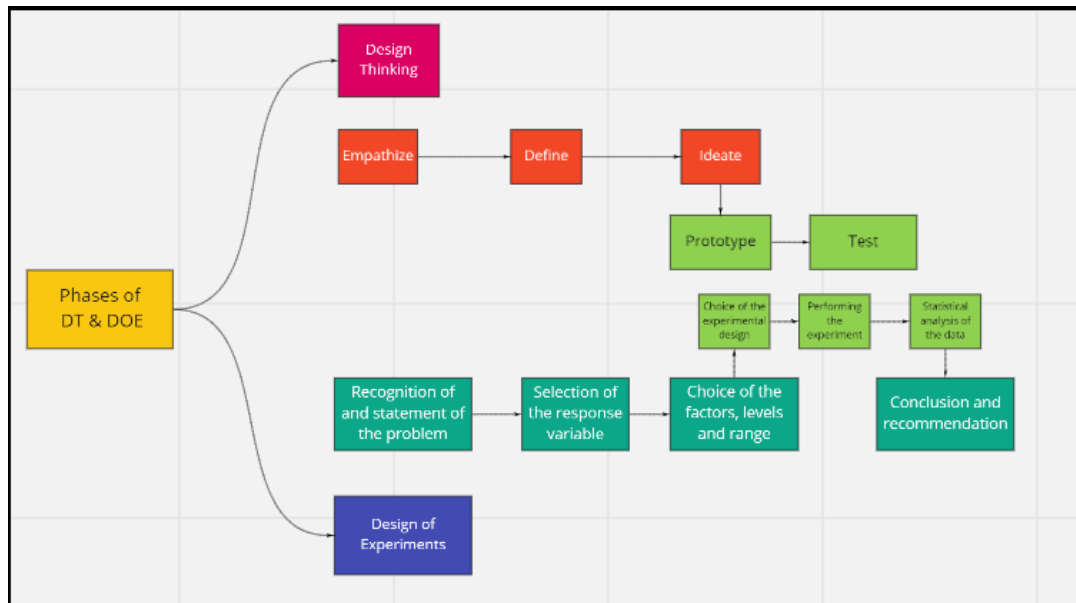
Proporcionar a los estudiantes un espacio de aprendizaje integral a través de actividades lo más cercano a una experiencia vivencial; que les permitan el desarrollo de conocimientos técnicos, así como de habilidades y competencias necesarias para su desempeño profesional, mediante el uso la simulación de una empresa ensambladora de autos basada en modelos ERP y potencializado con prácticas de realidad aumentada y virtual en una plataforma en línea llamada VEP (Virtual Enterprise Planning).

### **2.2 Metodología.**

La metodología de trabajo para esta investigación está basada primero en entender la situación del aprendizaje a distancia y, el poder conceptualizar los proyectos de manera sistémica, situación que se agudizó con el confinamiento durante covid 19. El análisis de esta problemática se hizo a través de la fusión de dos disciplinas, el Diseño de Experimentos y el

Design Thinking y se utilizó el diseño de un simulador basado en la realidad mixta (virtual, aumentada e inmersiva) usando el concepto de ERP (Enterprise Resource Planning) para analizar lo más acercado a una manera vivencial la simulación de una planta ensambladora de autos (Stretch-Stephenson, 2015). En la figura 1 se muestra la metodología aplicada a la investigación.

**Figura 1.- Metodología que fusiona el Design Thinking y el Diseño de Experimentos para el diseño de actividades académicas de alto impacto.**



El primer paso en design thinking es la empatía, para lo cual analizamos las encuestas institucionales y las aplicadas por el grupo de investigación en los periodos escolares febrero junio 2020, verano 2020, agosto diciembre 2020, Invierno 2021 y febrero junio 2021, en las cuales se analizó la opinión de los alumnos al inicio y final del periodo escolar, esto nos permitió determinar tanto el estado de ánimo de los alumnos como sus necesidades.

En la parte de definición se utilizó la ingeniería del pensamiento que está basada en el álgebra de conjuntos para determinar las características más importantes que debería tener el simulador, entre ellas seleccionamos el enganche, rigor académico, competencias transversales y disciplinares, gamificación, tecnología, grado de dificultad entre otras.

A través del uso de técnicas de grupos nominales y de modelación estructural interpretativa se definieron tres variables críticas: el enganche del alumno, el rigor académico y las competencias transversales, con esto comenzamos a definir los parámetros a estas variables y se planteó el diseño experimental.

Se definieron tres hipótesis a probar basadas en el uso de nuestro simulador:

1. Que estadísticamente el aprendizaje de los alumnos sería alto, definiendo como alto una calificación mayor o igual a 85 puntos sobre 100.

2. Que estadísticamente los alumnos desarrollarán las competencias transversales, será medido mediante la revisión por rúbrica de la evidencia de aprendizaje entregada.
3. Que los alumnos usarán el simulador en promedio más de 50 horas dentro del periodo escolar.

Mediante el diseño experimental se pudo determinar la zona en la que se debe diseñar el simulador, con esto se pudo hacer un prototipo que probado a 5 grupos con una muestra de 271 alumnos, y con los resultados de las encuestas de salida se hizo el diseño final del Tec 21 VEP (Virtual Enterprise Planning)

### **2.3 Modelos ERP para el aprendizaje de la gestión de proyectos.**

En la década de los 70's hicieron su aparición los sistemas de planeación de requerimientos de materiales, MRP (Material Planning Solution) ante la necesidad de las empresas de planificar la materia prima que se requería para satisfacer las órdenes de sus clientes. Con el desarrollo de los softwares de planificación de producción, nacieron en la década de los 90's los sistemas ERP (Enterprise Requirement Planning), estos sistemas buscaban integrar a todas las entidades que participaban en una empresa, estos sistemas evolucionaron hasta convertirse en SAP (Rashid, 2002)

Los continuos desfases que existían entre la promesa de tiempo de entrega de la orden del cliente contra el tiempo real de entrega provocaron que se hicieran análisis sobre la causa raíz de dichos desfases, encontrando varias causas, entre ellas, la integración de la demanda, la falta de una construcción del billete de materiales, el deficiente análisis de capacidad de línea, así como de la integración y desarrollo de los proveedores. Esto generó un desarrollo exponencial de las metodologías para la planeación de producción, compra de materiales y manejo de materiales, el principal problema fue el trabajo aislado. A través del concepto de sistemas, de ver todo como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí para lograr un fin común, se logró la sistematización de herramientas que permitieran hacer una planificación de la producción que satisficiera las necesidades de las empresas.

El aprendizaje a distancia de estos conceptos no es tan sencillo, se pueden usar simuladores y plataformas para entender los conceptos e interacciones de un MRP, pero estos están focalizados en una sola área o función, pero no de manera sistémica. Esta es la motivación principal por la cual se desarrolló un simulador de una ensambladora de autos mediante la filosofía de ERP que manejara tanto la realidad aumentada como la realidad virtual para que el alumno pueda ver de manera visual, así como manipular las partes de un producto y comprenda la interacción en el sistema de todos los componentes hasta que se entrega el producto terminado con el cliente.

La realidad virtual y aumentada, es un catalizador para las buenas prácticas de aprendizaje a distancia y permite a los alumnos adquirir y desarrollar competencias como la solución de problemas, pensamiento sistémico, entre otras.

Un proyecto analizado de manera aislada puede aplicarse ingeniería financiera y determinar si es viable o no de acuerdo a técnicas de valor presente y retorno de la inversión, pero cuando el proyecto es analizado dentro de la unidad de negocio implica un pensamiento sistémico para poder comprender como una máquina puede eliminar problemas de calidad, abrir capacidad de producción o la factibilidad técnica de manufactura un producto con nueva tecnología, en todos estos casos el fin último es lograr la mayor rentabilidad.

A través del simulador, de manera directa se pueden recrear escenarios que incrementen la rentabilidad del negocio, ya sea con diferentes configuraciones de equipos, y de manera indirecta mediante las prácticas de realidad aumentada, se puede definir la inversión total, es decir, considerar no solamente el equipo base, sino toda la inversión requerida para operar.

El no considerar la inversión completa es una de las causas de que el presupuesto se rebase al momento de implementarlo.

## **2.4 Desarrollo del Simulador.**

Desde 2003 se ha buscado diseñar actividades académicas en donde se pueda reforzar y/o poner en práctica los conocimientos de planeación de la producción, control de inventarios, diseño de experimentos, calidad, administración y evaluación de proyectos entre otros, así nació la “Ensambladora de autos Tec21” bajo la filosofía STEM, la cual estaba basada en el ensamblar autos a escala usando modelos de Meccano.

En marzo del 2021 se tuvo que rediseñar la actividad para el aprendizaje a distancia, por lo que se usó la plataforma EON con lecciones de realidad aumentada en la industria automotriz, que son similares a los subensambles de los Meccanos que usamos en las prácticas en laboratorio, con la finalidad de que los alumnos tuvieran una experiencia lo más parecida a hacer físicamente la actividad en nuestra universidad así como actividades en plantas de manufactura del sector automotriz

El concepto de la simulación, es pensar en un sistema ERP, (hoy en día el más conocido es el SAP) es decir, aplicar el pensamiento sistémico para integrar los diferentes departamentos de la ensambladora de tal manera que los alumnos comprendieran la importancia de ver la empresa como un sistema y lograra comprender el flujo de la información así como las diferentes interfaces que deben trabajar para reducir, entre otras cosas los tiempos de entrega, los faltantes de materiales e incrementar la productividad de la empresa.

Para enseñar a nuestros alumnos estos conceptos se tienen módulos de SAP que pueden ser usados solamente dentro de las instalaciones del Tecnológico en laboratorios de cómputo, por restricciones de las licencias de uso del software. Con el reto que se presentó al tener que trabajar a distancia debido al confinamiento derivado del covid19 se diseñó y construyó un simulador que replica los procesos de fabricación de una armadora de autos, basado en modelos de Meccano ( Shire Publications 2012) y Lego.

El diseño de esta actividad emula un sistema de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) y facilita a los estudiantes diseñar una empresa donde las actividades y los departamentos están completamente vinculados. Por lo anterior, si se pierde el flujo de información, no podrán atender la demanda de montaje que los clientes soliciten a través de una Orden de Cliente (CO). Permite la construcción de modelos de trabajo y dispositivos mecánicos.

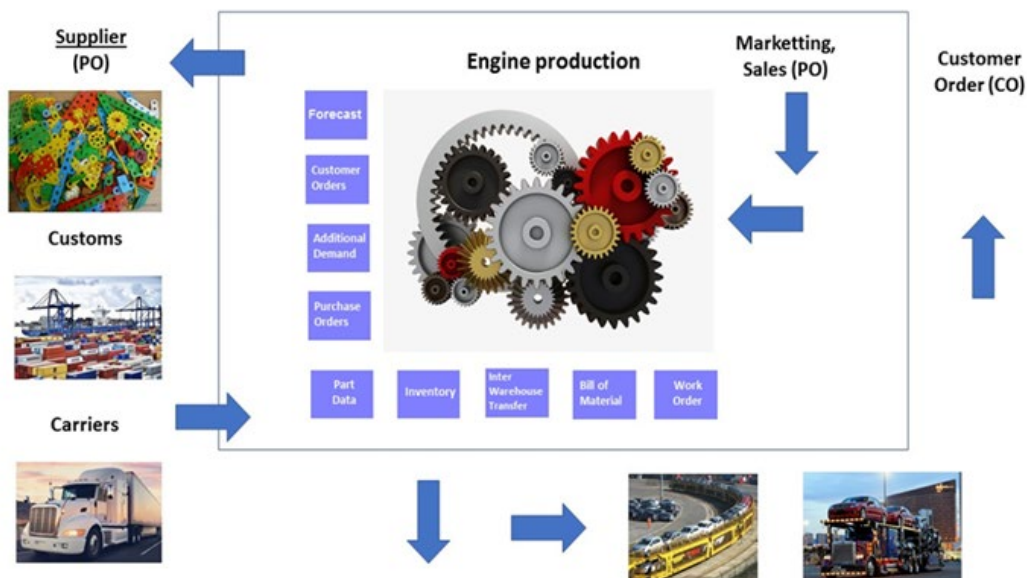
Con la finalidad de hacer la actividad más atractiva, la simulación se convirtió en un juego de roles con retos, basado en los procesos de la simulación, esto debido a que durante el semestre agosto diciembre 2020 se tuvo una experiencia desfavorable en la aplicación de la planta virtual. El aprendizaje no fue cuestionado por los alumnos, como tampoco el asesoramiento del equipo docente, pero sí hubo comentarios acerca de la gran cantidad de tiempo invertida para hacer los entregables así como el tiempo que los alumnos tuvieron que esperar para una retroalimentación.

Cuando una persona participa en un juego de mesa, la motivación es ganar, este sentido de competencia hace atractivo pasar horas y horas en dicha actividad, al transformar las metodologías y situaciones problemas en retos divertidos se logró enganchar a los alumnos en el proceso de aprendizaje. Las ventajas que tienen la gamificación (González, 'et al.'. 2020) son:

- Hacer que el aprendizaje sea divertido e interactivo.
- Genera adicción al aprendizaje
- Le da la oportunidad de ver al alumno una utilidad real.
- Proporciona retroalimentación inmediata
- La gamificación potencia la experiencia de aprendizaje.

Los procesos más representativos de una ensambladora de autos son simulados, comenzando con el cliente, quien de acuerdo con Marketing, genera una orden de compra, que avanza a los compradores de materiales. Deben consultar el índice de productividad, porque, si la orden de compra es de 40 autos, es un error comprar los kits de repuestos por esa cantidad de producto si el índice de productividad sugiere comprar más para contrarrestar los problemas de diseño y calidad que puedan surgir. Esto se puede observar en la Figura 2.

Figura 2: Proceso simulado de la ensambladora de autos



Cada familia de piezas genera datos históricos, y se parametriza con los tiempos de fabricación, los tiempos de entrega se calculan con el VEP, en este punto de la simulación es crucial calcular pronósticos para anticipar el pedido de compra realizado por el cliente y realizar pedidos de las piezas a los proveedores para que las piezas lleguen a tiempo para reducir el tiempo de entrega del producto.

La programación de la simulación se basa en definir claramente los procesos involucrados, mapear el flujo de la información y acotarlo al ensamble de 5 modelos diferentes de Meccano, generando los errores mediante distribuciones de probabilidad que sustituyen los dados, relojes de arena, pirinolas y otras herramientas lúdicas. Figura 2.

El objetivo de la simulación es entregar al cliente sus órdenes en el tiempo solicitado, con el menor costo, la más alta calidad y el mayor margen de utilidad para la compañía. En la gamificación el alumno siempre tendrá acceso a material audiovisual con consejos en cada módulo y retroalimentación instantánea de los errores cometidos durante el proceso.

El simulador corre en una plataforma en línea, de tal manera que el profesor pueda parametrizar o enfatizar en el área académica de su interés, de esta manera pueden jugar una gran cantidad de alumnos de manera simultánea para diferentes cursos. ¿Cuál es la ventaja de este simulador respecto a los que ya ofrecen universidades y desarrolladoras de sistemas? La respuesta es que básicamente el simulador no se limita a un solo aspecto de ERP sino, como se ve en la Figura 2, analiza módulos de compras, clientes, proveedores, demanda, compras, manejo de inventarios, ingeniería de producto, proceso y calidad, así como logística, lo que permiten al simulador pertenecer al espectro. Según Deterding (2011), el concepto conocido en inglés como “Gamification of learning”, se refiere a “el uso de elementos del juego en contextos que no son juegos” o “el proceso de hacer a las actividades más como un juego” Buckley & Doyle (2016), el cual es utilizado con el objetivo de ofrecer una alternativa de aprendizaje basado en el juego, que al ser implementado en la educación tiene múltiples beneficios como mejorar la participación de los estudiantes, aumentar su motivación y alentar la curiosidad, generar ambientes de aprendizaje atractivos y disfrutables por el alumno, entre muchos otros.

A pesar de que esto genera un gran valor para el simulador, se reconoce que en la investigación se encontraron otras opciones ya existentes en el mercado, cuyo concepto es similar al VEP, pero estas opciones están limitadas a un solo módulo y no tienen la posibilidad de la realidad aumenta. Universidades como Harvard y MIT tienen soluciones como son el “Juego de la cerveza” desarrollado por el MIT y utilizado para instruir a ingenieros industriales, Flexsim para la simulación de eventos discretos o “Fishbank” (MIT Management 2022 [8]) para enseñar acerca de gestión de recursos, solo por mencionar algunos ejemplos. Mientras que Harvard tiene el Operations Management Simulation: Balancing Process Capacity y el Global Supply Chain Management Simulation, sin embargo, como se ha comentado sólo se analiza un aspecto del ERP y no completo, además de que puede ser parametrizado por el profesor y el juego tiene una interfaz gráfica que es muy atractiva para el alumno. Figura 3.

La realidad virtual (RV) ha sido un excelente complemento para el simulador, ya que se enfoca al diseño, ingeniería e investigación relacionada con los sistemas interactivos inmersivos. Estos sistemas de realidad virtual sintetizan entornos, o mundos, que son simulaciones de la realidad que generalmente se renderizan utilizando imágenes tridimensionales, sonidos y retroalimentación de fuerza. Este tipo de tecnología permite la inmersión en entornos y procesos alterados a nuestra realidad, asimismo, permite intensificar la experiencia y la imaginación, aumentando así la investigación y el proceso de aprendizaje de nuestros estudiantes.

En la etapa de transición del simulador, hemos usado librerías de la plataforma EON XR Reality que tiene un enorme parecido con los dispositivos de Meccano que usamos para la simulación física, y a través de un trabajo colaborativo con la escuela de Diseño del Tecnológico de Monterrey logramos el modelado de todos los autos para poder digitalizarlos

en realidad virtual y aumentada y los alumnos pudieran manipular y conocer todas las partes que se encuentran el BOM del simulador.

**Figura 3: Tabla comparativa de VEP vs otros simuladores educativos**

Features	Simulators				
	<i>Fish Bank MIT</i>	<i>Beer game MIT</i>	<i>SAP</i>	<i>The production dice game</i>	<i>VEP Tec de Monterrey</i>
ERP	Resource Management System Thinking	Logistics, production planning, process control	Procurement Production planning	Inventory Production line, Workflow	Since CO is placed to delivery FGI in site of customer
Gamification	X	X		X	X
Simulator	X		X		X
AR & VR	2D	2D			2D, 3D, AR & VR
Flexible	X		X	X	X

El uso de la Realidad Virtual y Aumentada permite que el entorno se vuelva interactivo, colorido, tridimensional. Nos da la oportunidad de realizar una experiencia inmersiva, donde un usuario puede presenciar experiencias y eventos que aparentan ser reales.

Se ha demostrado que la experiencia de VR y AR incrementa la motivación de los alumnos y ayuda a que adquieran mejores habilidades de investigación, pensamiento crítico, resolución de problemas y comunicación a través de ejercicios colaborativos (Meinhold 2018). Las ventajas de la tecnología VR y AR se reflejan en resultados para nuestros estudiantes como logros de aprendizaje, motivación y actitud que se recopilan en resultados de aprendizaje. Estudios anteriores han reportado que este tipo de tecnología lleva a logros de mejora en el rendimiento de aprendizaje junto con una actitud positiva en las actividades. Donde demuestran emociones de felicidad donde “aprenden a través del juego”

Aunado a esto, de acuerdo a Gartner Inc. (2020) existen una variedad de tendencias imprescindibles en las tecnologías emergentes. Se destacan las tecnologías que afectarán significativamente a las empresas, sociedad y personas en los próximos años. Se incluyen tecnologías que permiten a las empresas y a la sociedad aspirar a recuperar la confianza en la tecnología. Donde la tecnología de AR se encuentra en un estado exponencial donde cada vez es más frecuente el uso de aplicaciones educativas innovadoras en el aula, permitiendo a los estudiantes y profesores “interactuar” más a fondo con sus actividades y en el proceso de enseñanza-aprendizaje (véase Figura 4).

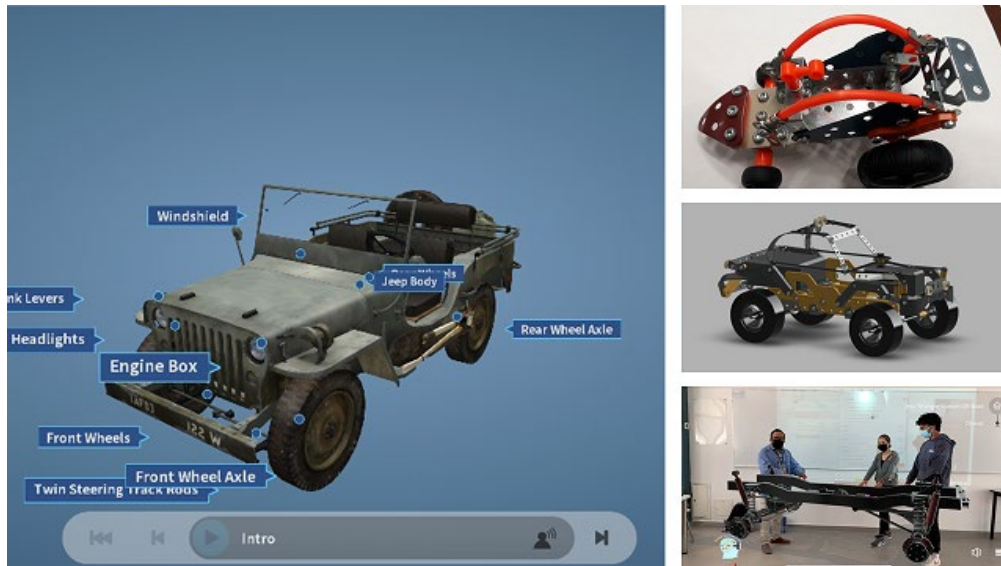
## 2.5 Resultados

Se diseñó un protocolo de investigación para evaluar la variable aprendizaje dentro del curso Evaluación y Administración de Proyectos IN2025 para alumnos de ingeniería, el cual se



basaba en analizar la media estadística de dos evaluaciones para determinar si hay aprendizaje a través de la prueba T Pareada. La primera se aplicaba a temas específicos

**Figura 4: Experiencia de AR en clase.**



sobre evaluación de múltiples alternativas de inversión y definición de actividades para un proyecto de incremento de capacidad en línea de producción. Se aplicó examen de conocimiento a los alumnos justo antes de iniciar la actividad de aprendizaje “planta virtual” obteniendo como media 74.23 sobre 100 puntos a una población de 26 estudiantes, teniendo una desviación estándar de 13.17 puntos, siendo la nota más baja 50 puntos, se puede inferir que el aprendizaje no era homogéneo. Las condiciones para llegar al examen es que ya habían visto en tres sesiones de clase anteriores los temas que se estaban evaluando.

Al hacer la práctica de la planta virtual se aprecia inmersión total de los alumnos que estaban conectados a la clase en línea. se resolvieron todos los pasos de la práctica y se procedió a una sesión de reflexión y feedback de parte de los alumnos al profesor a través de cuestionario y el uso de menti para obtener una nube de comentarios en donde se aprecia que disfrutaron el aprendizaje a través de un simulador y prácticas de realidad aumentada. inmediatamente se volvió hacer un segunda prueba en donde la calificación promedio fue de 02.69 con una desviación de 5.33 puntos, con lo que se aprecia desarrollo del aprendizaje, y a través de la prueba T pareada se comprueba la hipótesis de que la actividad llamada planta virtual genera un aprendizaje significativo en los estudiantes. Ver fig. 5 con el resumen de las estadísticas descriptivas comparado los dos exámenes aplicados.

Con la versión beta del simulador que corresponde a la planta virtual usando la plataforma de EON se aprecia que la media se incrementa a 92.69 y se reduce la desviación estándar de 13,17 a 5.33 comparando histogramas de ambos test, se concluye que se genera un conocimiento homogéneo en el segundo test disminuyendo la dispersión de calificaciones.

**Figura 5: Estadísticas descriptivas de los exámenes aplicados.**

## Estadísticas

Variable	Conteo total	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Before VEP	26	74.23	13.17	173.38	50.00	63.75	77.50	85.00	90.00
After VEP	26	92.69	5.33	28.46	80.00	90.00	95.00	95.00	100.00

A través de la prueba T pareada con dos muestras, se validó estadísticamente que hay un incremento significativo del aprendizaje de los alumnos al usar el simulador, se ha seguido el protocolo de investigación para analizar hipótesis nula y alternativa, siendo la segunda que la media del promedio de las calificaciones obtenidas en los exámenes, que para el estudio se denominará "ganancia de conocimiento" es diferente entre ambas, siendo M1 antes de la PV y M2 después de aplicar la PV, esto lo podemos hacer al analizar las calificaciones individuales de M1 vs las de M2 mediante una prueba de t de student de dos muestras en la cual queremos validar no solo que sean diferentes, sino que la media de M2 es mucho mayor.

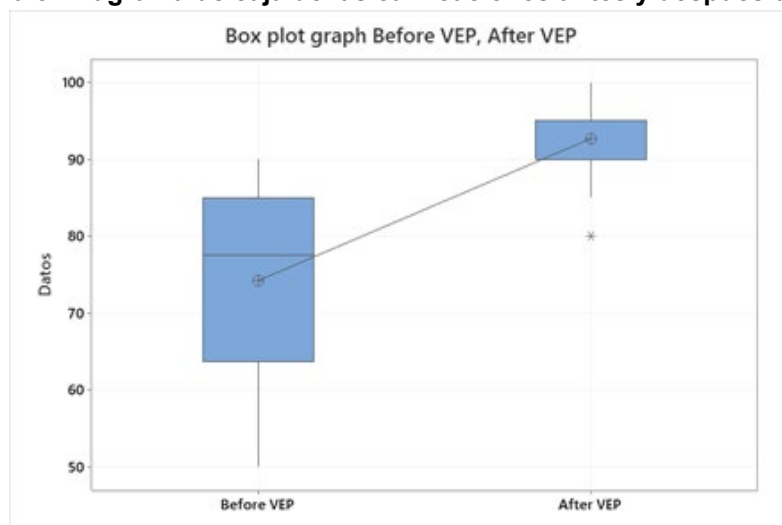
Ho  $\mu_1 = \mu_2$  El promedio de las calificaciones obtenidas por los alumnos sera igual independientemente de usar o no el simulador.

H1  $\mu_1 \neq \mu_2$  El promedio de las calificaciones obtenidas por los alumnos sera diferente.

Se busca rechazar la hipótesis Nula H0, con lo cual se podrá demostrar la veracidad de H1 y validar el supuesto de que los alumnos mejoran su rendimiento académico usando el simulador en temas de ingeniería industrial.

Para cada materia se diseñará una práctica específica de la planta virtual en donde se vincule los elementos de la prueba (examen) para que el alumno tenga un conocimiento más detallado de cada elemento y pueda a través de la experimentación asociar la teoría en clase con la práctica que le ofrece usar la planta virtual.

**Figura 5: Diagrama de caja de las calificaciones antes y después de VEP**



Los estudiantes tuvieron la oportunidad de conocer toda la situación de la planta virtual y vivir un entorno virtual de aprendizaje dentro de la ensambladora por lo que pudieron conocer a detalle los diferentes productos, problemas reales y crear modelos para proponer distintas soluciones medibles y cuantificables.

Los resultados del uso de la herramienta de RV y AR se compila en la figura 6 (véase figura para la aplicación del grupo en línea, que pudieron experimentar y recibieron la demostración en clase en vivo. En este caso se hizo la manufactura de un Jeep Wrangler usando como base un Jeep Willys, en donde analizaron las capacidades de línea y determinaron la compra de equipos de manufactura como son centros de maquinados y robots

En el análisis estadístico se aprecian que se obtuvieron calificaciones media-alta de acuerdo a su experiencia de la herramienta y la demostración en tiempo real. La experiencia de aprendizaje se obtuvo alrededor del 80% (en clase), 81.2% (en línea). Para el rubro de diseño de actividad 76.2% (en clase) y 73.2% (en línea). Los parámetros de cumplimiento de objetivos (70.4%, 70.2%), facilidad de uso (70.6%, 70.2%) y utilidad de la aplicación (70.4%, 69.4%) fueron prácticamente similares.

En resumen, evaluaron de manera general la aplicación de AR y RV un 76.2% para los que vivieron la experiencia en tiempo real y 74.8% a la experiencia en línea. Hay que destacar que en el grupo se tenían a alumnos de carreras de ingeniería no vinculadas a procesos de manufactura como son agronomía, biotecnología y alimentos y sin embargo, con las prácticas tanto en el simulador como en la planta virtual le permitió de una manera sencilla y divertida adquirir el aprendizaje.

La encuesta y retroalimentación de la experiencia de la herramienta EON-XR fue únicamente por parte de los alumnos que utilizaron la aplicación de AR y RV en el periodo académico febrero-junio 2021 del curso de Administración y Evaluación de Proyectos.

## **2.6 Conclusiones**

El aprendizaje a distancia fue un reto para todas las instituciones educativas en el mundo durante el confinamiento por covid 19, la búsqueda de innovación educativa para la enseñanza de técnicas de ingeniería industrial a nuestros alumnos en el Tecnológico de Monterrey fue uno de los motivadores para desarrollar este simulador ERP, pero sin duda, la mejor motivación fue coadyuvar a la estabilidad emocional de nuestros estudiantes. En sí mismo el desarrollo de este simulador llevó todo un aprendizaje de gestión de proyectos, en donde lo que enseñamos en el aula lo aplicamos en la innovación educativa.

Los ejercicios de empatía nos permitieron migrar de un simulador a una gamificación educativa que atrajo la atención de los estudiantes por tratarse de la explicación de temas complejos a través de lecciones de realidad aumentada y virtual, en la cual los alumnos con sus teléfonos podían entrar a los autos y reconocer cada una de las partes que conforman el billete de materiales o, despedazar un centro de maquinado para comprender que un proyecto

de incremento de capacidad de producción es más allá de la bancada (maquinaria) y que requiere de equipo periférico que no está considerado en el proyecto inicial.

El desarrollo del aprendizaje tanto de competencias disciplinares como de egreso se potencializan con el uso de simuladores de procesos reales y permite a los estudiantes vivir experiencias situacionales cercanas a lo que se enfrentarán en la vida laboral.

## 2.7 Agradecimientos.

"Los autores desean agradecer el apoyo financiero y técnico de Writing Lab, Institute for the Future of Education, Tecnológico de Monterrey, México, en la producción de este trabajo".

"Los autores agradecen el apoyo financiero de Novus Grant con PEP No. 199, TecLabs, Tecnológico de Monterrey, México, en la producción de este trabajo."

## 2.8 Referencias

- Akçayir, M., & Akçayir, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11.
- Buckley, P., & Doyle, E. (2016). Gamification and student motivation. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1162–1175, 2016.
- Deterding, S., Sicart, M., O'Hara, K., Dixon, D., & Nacke, L. (2011). Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming Contexts. *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2425–2428. doi: 10.1145/1979742.1979575.
- Gonzalez, C., López, M., Acuña, A., Caballero, E., Zubieta, C., & Yarto, M. (September, 2020). Stem competency - based learning for engineering and design students of the educational model tec21. *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering and Product Design Education (E&PDE 2020)*. doi: <https://doi.org/10.35199/EPDE.2020.25>.
- Gonzalez, C., Saavedra, V., Acuña, A., Caballero, E., Aguirre, A., & Zubieta, C. (February 2021). Distance Learning through Simulators and Virtual Platforms for the Teaching of Industrial Engineering within the Tec 21 Educational Model. *DSDE '21: 2021 4th International Conference on Data Storage and Data Engineering*, 93–99. doi: <https://doi.org/10.1145/3456146.3456161>
- Holloway, S. (May 2018). Gamification in Education: 4 Ways to Bring Games to Your Classroom. *TopHat*. Available from <https://tophat.com/blog/gamification-education-class/>
- IFE, O. (February 2020). IFC study analyzes Tec de Monterrey's Educational Model. *Observatory | Institute for the Future of Education*. Available from <https://observatory.tec.mx/edu-news/world-bank-tec21-tec-de-monterrey-educational-model>

Panetta, K. (2020). 5 Trends Drive the Gartner Hype Cycle of Emerging Technologies, 2020. Gartner. Available from <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-drive-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2020/>

Meinhold, R. M. A. . P. D. (2018). Virtual Reality. Salem Press Encyclopedia of Science. Available from <https://0-search-ebSCOhost-com.biblioteca-ils.tec.mx/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=89250621&lang=es&site=eds-live&scope=site>

Meccano, Marriot, R., Shire Publications, 2012, ISBN 13: 9780747810568.

Rashid, M., & Patrick, J. (2002). The Evolution of ERP Systems: A Historical Perspective. IGI Global. doi: 10.4018/978-1-931777-06-3.ch001.

Stretch-Stephenson, S., Houston, R., & Germano, M. (March 2015). Integrating Technology into Marketing Courses via SAP Enterprise Resource Planning (ERP) System. Journal of Business and Economics, 6 (3), 424-430.

USA. Massachusetts Institute of Technology [Internet]. Fishbanks. [consultado 25 de febrero 2022] Disponible en: <https://forio.com/simulate/mit/fishbanks-spanish/simulation/login.html#>

USA. Harvard Business Publishing. Education [Internet]. Global Supply Chain Management Simulation V2. [consultado 13 de diciembre 2021] Disponible en: <https://forio.com/simulate/mit/fishbanks-spanish/simulation/login.html#>

### Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

