

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

SIMULATION AND DIGITAL TWINS OF OPERATIONAL PROCESSES: CASE STUDY IN A FREIGHT FORWARDING COMPANY

Yarelis Hernández Gómez  <https://orcid.org/0000-0002-3971-8285>

Tatiana Delgado Fernández *  <https://orcid.org/0000-0002-4323-9674>

Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba

*Autor para dirigir correspondencia: tatiana.delgado@uic.cu

Clasificación JEL: O33, L86

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5821768>

Recibido: 20/11/2021

Aceptado: 7/01/2022

Resumen

La simulación es una herramienta de análisis y de toma de decisiones ampliamente utilizada en la actualidad y constituye uno de los pilares de los gemelos digitales. El gemelo digital es un elemento esencial para Industria 4.0, que permite modelar e integrar información relevante sobre el comportamiento de los sistemas productivos. Esta investigación se centra en la obtención de un modelo de simulación de uno de los procesos que se desarrollan en la Empresa de Mensajería y Cambio Internacional, para demostrar la utilidad del mismo y sentar las bases para la futura implementación de un gemelo digital. Para el desarrollo del modelo de simulación se siguió una metodología de siete fases que abarca: planteamiento del problema, recogida de datos, desarrollo del modelo de simulación, verificación y validación, explotación del modelo, análisis de los problemas detectados y propuesta de mejoras. El modelo fue obtenido en el software Arena, con los datos resultantes del cronometraje de las actividades del proceso y la información brindada por la empresa. Del análisis del modelo se extraen para la toma de decisiones en el proceso como el tiempo que toma procesar un envío y la utilización de los recursos de la empresa.

Palabras clave: Simulación, Gemelos Digitales, Procesos operacionales, Transitaria

Abstract

Simulation is an analysis and decision-making tool widely used today and constitutes one of the pillars of the Digital Twins. The digital twin is an essential element for Industry 4.0, which facilitates, among other elements, the acquisition and exchange of data. This research focuses on obtaining a simulation model of one of the processes that is developed in the International Change and International Change Company, to demonstrate its usefulness and lay the foundations for the future implementation of a digital twin. To carry out the work, a four-phase methodology was followed that includes: Determination of the problem, Obtaining the simulation model, Exploitation of the model and analysis of the detected problems and Recommendations for the implementation of a digital twin. The model was obtained in the Arena software, with the data resulting from the timing of the process activities and the information provided by the company. From the analysis of the model, weighty elements were obtained for decision-making in the process, such as the time it takes for processing and the use of the company's resources. In correspondence with the current situation of the entity, several recommendations were established for the implementation of a digital twin.

Keywords: Simulation, Digital Twins, Operational Processes, Freight forwarders

Introducción

La transformación digital se manifiesta en el grado de penetración tecnológica actual en todas las empresas y organizaciones¹. Una de las áreas de mayor impacto de la transformación digital es la eficiencia de procesos operacionales empresariales², dado que se considera un proceso evolutivo de capacidades y tecnologías digitales para crear valor que transforma los modelos y procesos de negocio.

La simulación constituye una valiosa herramienta de análisis y apoyo a la toma de decisiones. Ofrece la posibilidad de investigar el comportamiento de sistemas complejos, realizar experimentos “Qué pasa si” (“*what if*”), y la posibilidad de evaluar cambios en sistemas reales, sin interferir en ellos. La simulación facilita el uso de modelos de análisis, sincronización y monitorización más complejos de sistemas físicos a través de sus datos, recursos gráficos avanzados y soporte constante para la toma de decisiones³.

La simulación permite inferir datos que no están directamente disponibles para su medición. Los datos de interés también pueden estar en el futuro, o incluso en un sistema que no se haya construido físicamente; permite el análisis de diversos escenarios⁴. En la logística de producción, por ejemplo, la simulación de eventos discretos constituye una de las técnicas más comúnmente utilizadas para su comprensión⁵.

La simulación también constituye uno de los pilares de los llamados gemelos digitales. El gemelo digital es un factor esencial para Industria 4.0, que facilita la adquisición e intercambio de datos, el acceso a una variedad de información mayor que la actual y una interoperabilidad sin precedentes^{6,7}.

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

Los gemelos digitales son modelos o réplicas virtuales de productos, procesos y medios de fabricación existentes o futuros que permiten modelar e integrar la información relevante del comportamiento de los sistemas productivos, en una pantalla o en un medio inmersivo⁸. Constituyen soluciones que buscan representar digitalmente una realidad física, generando un conocimiento que pivota alrededor de los datos, con objetivo de proporcionar herramientas para la toma de decisiones, implementando adicionalmente capacidades de simulación y predicción. Y la diferencia de estas soluciones respecto a otras es precisamente su clara búsqueda de reproducir, procesar, simular, predecir lo que puede ocurrir en el mundo físico⁹.

Otras fuentes definen al gemelo digital como:

- Un perfil digital envolvente del comportamiento histórico y actual de un objeto o proceso físico que ayuda a optimizar el rendimiento empresarial. Los gemelos digitales se basan en mediciones de datos masivas, acumulativas, en tiempo real y del mundo real en una variedad de dimensiones¹⁰.
- Una réplica digital de una entidad física con el mapeo dinámico bidireccional entre un objeto físico y su modelo digital, que tiene una estructura de elementos conectados y metainformación¹¹.

Un gemelo digital está destinado a ser un almacén de datos e información y un proveedor de conocimientos. Por lo tanto, su arquitectura debe permitir almacenar el estado actual y los datos históricos (que pueden ser generados por simulaciones) y ayudar a los usuarios a derivar información utilizable de los datos¹².

Los gemelos digitales se pueden desarrollar utilizando componentes de simulación y modelos para reflejar imágenes del mundo real en el ciberespacio¹¹.

La utilidad de los gemelos digitales en las cadenas de suministro y la logística está empezando a ser tratada en la literatura para modelar y tener control digital de la cadena de extremo a extremo o en algunos de sus eslabones. La simulación en la logística de producción se centra con frecuencia en el rendimiento operacional, el tiempo de entrega, el rendimiento o la utilización de recursos⁵.

La pandemia COVID-19 no sólo ha impactado en los cambios de los procesos, sino que también ha sido el gran (y el real) acelerador de la transformación digital y de la adopción de tecnologías y procesos innovadores que estaban, hasta antes de la pandemia, en fase de prueba para su adopción o que simplemente no se contaba con el valor para tomar las decisiones de cambio¹³.

En este contexto, variables de decisión de compra como tiempos de despacho acotados y fiables, trazabilidad completa de la carga, servicios y costos integrados de extremo a extremo, serán ahora y en adelante, de acuerdo a la CEPAL¹⁴, un mínimo exigible a cualquier operación de logística internacional. En el año 2020 se hizo palpable un aumento considerable de la solicitud de servicios de mensajería y paquetería tanto a nivel nacional como internacional. El arribo de paquetes al país se ha elevado a cifras sin precedentes en estos dos años. A inicios de octubre se estimaba la existencia en las naves de trabajo, en conjunto entre todas las transitarias, de alrededor de un millón de bultos.

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

En la actualidad el Grupo Empresarial Correos de Cuba impulsa un proceso inversionista con capital extranjero para la automatización de las plantas de procesamiento de envíos de la Empresa de Mensajería y Cambio Internacional, de manera que todo el tráfico –desde un sobre hasta un paquete de 30 kilogramos– entre a las áreas de clasificación y de despacho, y de ahí al destino final¹⁵.

Ante este escenario, la introducción de tecnologías digitales, que repercutan en mejoras de indicadores claves de desempeño operacional, constituye una apuesta decisiva.

Esta investigación se enfoca en un estudio de simulación de los procesos operacionales como primer paso para la futura aplicación de gemelos digitales. Para ello, se obtiene un modelo de simulación del proceso desarrollado en la planta clasificadora de la Empresa de Mensajería y Cambio Internacional, se demuestra la utilidad de los modelos de simulación para los procesos operacionales y se demuestra la necesidad de introducir paulatinamente gemelos digitales que permitan modelar de forma virtual toda la cadena de valor de extremo a extremo en una transitaria.

Materiales y Métodos

El estudio realizado posee componentes cuantitativos, a partir del empleo de los datos sobre los procesos operacionales de la empresa objeto de estudio. Para la obtención de un modelo de simulación se emplea el software Arena y componentes cualitativos que parten del análisis de la literatura internacional sobre los gemelos digitales.

Mediante el estudio de simulación se refleja la situación actual de la empresa objeto de estudio y se establece una base para el futuro empleo de gemelos digitales.

Los procesos operacionales son los que incorporan valor a los bienes y servicios, y son encargados de lograr la satisfacción del cliente. Se entiende por valor como “todo aquello que se aprecie o estime” por el que lo percibe al recibir el producto (clientes, accionistas, personal, proveedores, sociedad).¹⁶

Indicadores de desempeño: Son medios, instrumentos o mecanismos para evaluar hasta qué punto o en qué medida se están logrando los objetivos estratégicos. Producen información para analizar el desempeño de cualquier área de la organización y verificar el cumplimiento de los objetivos en términos de resultados. Detectan y prevén desviaciones en el logro de los objetivos.¹⁷

El entorno de simulación comprende el software e infraestructura capaz de desarrollar y evaluar modelos de ingeniería basados en métodos matemáticos y algoritmos de cálculo, que permite presentar los resultados de comportamiento del elemento que estamos diseñando, según diferentes supuestos y escenarios de operación de interés, siempre de una manera intuitiva para la interpretación por los ingenieros.

Incluyen representaciones gráficas, tablas, textos e imágenes sobre las diferentes vistas manejadas por los responsables de verificar las soluciones técnicas de diseño. Los paquetes de simulación permiten en

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

general controlar la calidad de los modelos que representan el objeto a ensayar en el ámbito virtual o de la simulación.

Es significativo que los resultados de las simulaciones, los modelos y los parámetros utilizados queden bajo control de la configuración, para su posterior uso y adaptación en el entorno de explotación del Gemelo Digital¹⁸.

Para crear el modelo de simulación se sigue la metodología expresada en la **Figura 1**.



Figura 1. Fases para crear el modelo de simulación

Fuente: adaptado de Rodríguez Vilches²⁰

A continuación se describen estas fases:

- Planteamiento del problema: Se identifica y describe el problema en el escenario empresarial seleccionado y se describen los procesos a simular.
- Recolección de datos: Recolección de los datos y estadísticas que posee la empresa en relación con los tiempos de las actividades que se desarrollan en cada proceso, la cantidad de equipos y trabajadores, tiempos de mantenimiento, fallas o interrupciones programadas y las capacidades productivas. En los casos en que no existe registro de los tiempos necesarios, se debe cronometrar para recolectar dichos datos.
- Desarrollo del modelo. Se procesan y tabulan los datos recolectados (para mayor facilidad). Se determinan los componentes del modelo: entidades, atributos, variables, recursos, colas y actividades¹⁹. Se realiza el modelo en el software seleccionado (Arena).
- Verificación. Se verifican métricas de consistencia en el propio software de simulación.
- Validación. Se comprueba la correspondencia del modelo creado con la realidad existente en la empresa. Si el modelo se ajusta a la situación existente en la empresa, puede ser empleado para análisis de los procesos²⁰.
- Simulación (explotación): Se explota el modelo de simulación haciendo las corridas necesarias para el análisis del comportamiento del proceso estudiado.
- Análisis: El software Arena ofrece reportes de la simulación en los que se muestran las estadísticas de todas las variables del modelo, la información de los tiempos de cada actividad (tiempos de espera, tiempo total en el proceso, tiempos ociosos de los equipos y trabajadores), así como la cantidad de elementos procesados.

- Propuesta de mejora: el software permite modificar los elementos simulados permitiendo analizar posibles escenarios, por lo que se puede estudiar qué pasaría si se cambia el valor de algunas variables (ej. agregar o disminuir puestos de trabajo) y proponer mejoras o variaciones.

Resultados

Se selecciona como escenario de estudio la Empresa Mensajería y Cambio Internacional (EMCI) del Grupo Empresarial Correos de Cuba, encargada de brindar servicios de intercambio y tratamiento internacional de correspondencia y encomiendas postales del servicio postal universal; así como servicios de mensajería y paquetería.

La EMCI incluye servicios de importación y exportación de bultos postales, de mensajería y paquetería expresa, aduanales y transitarlos, y asegura el correo oficial a los organismos y organizaciones del Estado cubano, además, de la relación con los 192 países pertenecientes a la Unión Postal Universal.

Planteamiento del problema

Los procesos operacionales de la EMCI se han visto particularmente afectados con un incremento exponencial de envíos durante la pandemia Covid-19, con una marcada insatisfacción del usuario por la demora en la entrega de los paquetes importados.

Ante este aumento, la empresa adoptó medidas para acortar los tiempos a partir de que arribaban al puerto del Mariel y su llegada al destino–, entre las que se encuentra la extensión de los turnos de trabajo de lunes a lunes 12 horas diarias, primeramente, y a 24 horas diarias en la actualidad; una acción que impacta positivamente sobre la capacidad de procesamiento, pues se pasó a tramitar de siete a más de 25 contenedores mensuales.

Asimismo, se adquirieron equipos de Rayos-X en las plantas, que también facilitaron el nivel de procesamiento de la paquetería internacional; aunque en estos momentos uno de ellos está roto, por lo que solo se encuentran dos en funcionamiento

No obstante, se mantiene la demora en la entrega de los envíos a los clientes, debido a las limitaciones generadas por el bloqueo, la pandemia, así como por problemas subjetivos asociados a los procesos operacionales y de transportación internos del Grupo Empresarial Correos de Cuba, que tienen un impacto negativo.

El grupo empresarial se encuentra en un proceso inversionista para la automatización de las plantas de procesamiento de envíos de la Empresa de Mensajería y Cambio Internacional. Este proceso busca enfrentar una demanda superior para los envíos que cumplan con las normas de Correos de Cuba. La empresa trabaja para lograr alianza con la industria nacional y con las universidades como la Cujae, para encontrar soluciones nacionales que faciliten la culminación del sistema de automatización de las plantas de procesamiento de envíos.

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

El inicio del procesamiento de una guía aérea o marítima comienza con el recibo de la prealerta enviada por los diferentes operadores que tienen contrato con la entidad. La prealerta recoge la información sobre el envío de forma adelantada para facilitar y agilizar los procesos posteriores.

Al arribar el envío al país, es recibido por la aduana y un representante de la empresa. Luego se gestiona el transporte para recoger los contenedores en el puerto del Mariel y las guías en el Aeropuerto Internacional José Martí, es necesario resaltar que la empresa no cuenta con transporte propio para esta actividad, por lo que subcontrata la transportación.

En dependencia de la capacidad de trabajo en las plantas clasificadoras, los envíos recibidos pueden pasar directamente a las mismas o pasar a un Depósito Temporal, ubicado dentro de la misma unidad, donde serán almacenados hasta que puedan ser procesados en las plantas.

En las plantas clasificadoras se les hace apertura a los envíos y estos pasan primeramente por la Aduana para ser nacionalizados. Los agentes de la aduana cuentan con tres máquinas de rayos X (una se encuentra rota), para la revisión de los envíos; una de las máquinas es para las misceláneas y la otra para productos del tipo perecedero.

Posteriormente, se clasifican los paquetes según su destino y se procede a pesar los envíos, ingresar los datos en el sistema de la empresa y conformar las valijas o sacas.

Una vez conformadas las sacas, los envíos pasan al área de despacho, donde son montados en un transporte para su distribución, la entidad tampoco cuenta con transporte propio para esta actividad.

Todas las actividades se realizan de forma manual; en el caso de la introducción de los datos del envío en el sistema, constituye una actividad de usuario, el técnico es quien introduce los datos en el sistema a través de la computadora.

En esta investigación, la simulación abarca desde que los envíos entran a la planta clasificadora hasta que pasan al área de despacho.

Recolección de datos

Los datos necesarios para la simulación fueron extraídos de los partes de cierre diarios correspondientes al mes de agosto, elaborado en la Dirección de Operaciones de la empresa. De estos documentos se pudo extraer la cantidad de guías y contenedores sacados diariamente del Depósito Temporal para ser procesados en las plantas, así como la cantidad de bultos de cada uno.

Para recolectar los tiempos que emplea cada actividad del proceso se recurrió su cronometraje y a la consulta a los encargados del proceso.

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

Tabla 1. Cronometraje de actividades

Observación	Aduana			Clasificación		
	Misceláneas (s)	Marcado manual (s)	Perecederos (min)	Misceláneas (min)	Perecederos (min)	Ingreso en el Sistema y Conformado de sacas (min)
1	32,3	56,48	1,38	11	24,56	4,48
2	27,87	57,82	1,67	12,29	25,43	3,55
3	34,39	56,68	1,33	12,38	24,24	3,39
4	47,33	57,23	1,62	12,1	23,46	5,01
5	27,87	57,13	1,45	12,25	25,30	4,38
6	35,62	56,75	1,52	11,02	25,36	5,18
7	40,12	55,06	1,63	12,18	24,33	6,01
8	36,25	57,56	1,81	13,08	26,43	3,21
9	28,6	57,42	1,4	12,34	24,01	3,42
10	25,4	55,59	1,37	11,17	26,22	4,22
11	34,85	55,44	1,75	11,48	24,22	5,08
12	45,63	57,88	1,47	12,28	24,06	6,1
13	21,6	57,93	1,81	12,42	25,18	4,39
14	24,8	57,69	1,43	13,26	23,50	4,34
15	37,56	56,92	1,32	12,31	25,31	3,37
16	46,78	57,17	1,58	12,16	23,16	5,33
17	45,61	57,22	1,37	11,11	24,33	6,02
18	43,53	56,23	1,62	11,55	23,42	5,1
19	44,32	56,05	1,59	11,35	25,04	4,41
20	49,25	57,17	1,45	13,24	23,46	4,22
21	45,89	55,46	1,27	12,55	26,13	4,1
22	39,10	56,6	1,71	12,43	24,44	4,56
23	39,85	57,93	1,25	13,29	24,40	4,49
24	30,82	57,64	1,44	10,2	26,07	5,19
25	38,38	55,42	1,54	13,34	25,14	4,12
26	27,35	57,38	1,31	13,16	25,12	5,22
27	30,79	55,12	1,32	12,33	25,55	5,29
28	41,88	56,16	1,51	11,08	25,52	5,24
29	32,40	55,39	1,34	13,13	26,12	3,51
30	27,70	56,64	1,57	10,01	23,20	4,05

Fuente: elaboración propia

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

Los valores estadísticos reflejados en el modelo fueron obtenidos de las consultas realizadas a los encargados del proceso en la empresa. De igual forma, se determinó tanto la cantidad real de trabajadores como de equipos, con el apoyo de las observaciones realizadas en las visitas a la empresa.

Desarrollo del modelo

Las entidades que entran al sistema modelado son las guías y los contenedores que son procesados en la “Apertura” por un grupo de operarios. En esta actividad se separan las guías y contenedores en bultos, por lo que el tipo de entidad cambia a “Bultos”.

Los bultos son procesados por la Aduana con la intervención de 2 operarios. Aunque la Aduana se encuentre dentro de la planta, son una entidad distinta y con distintos protocolos de seguridad, por lo que sólo se analizó el tiempo que demoran los bultos en ella y se refleja como recurso que se quiere analizar “los operarios”.

Luego, los bultos pasan a ser clasificados por su destino, con la participación de tres clasificadores. Posteriormente, se cuenta con 15 técnicos que pesan los bultos, ingresan sus datos en el sistema y conforman las sacas que serán despachadas.

La **Tabla 2** y **Tabla 3** describen los elementos del modelo y las relaciones con las funciones del software de simulación Arena, respectivamente.

Tabla 2. Elementos del modelo

Entidades	Atributos	Actividades	Recursos	Colas
Guías	Tiempo de Apertura (Tapertura)	Apertura	Operarios	Infinita, FIFO
Contenedores	Cantidad de Bultos (CantBultos)			
Bultos	Tiempo de Clasificación (Tclasif)	Aduana	Operario	Infinita, FIFO
		Clasificación	Clasificadores	Infinita, FIFO
		Pesaje, Ingreso y Conformado de Sacas	Técnicos	Infinita, FIFO

Fuente: elaboración propia

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

Tabla 3. Relaciones funcionales entre las variables a medir en el proceso estudiado y las funciones empleadas del software Arena

Descripción	Expresión/ Valor	Elemento del Software	Aclaraciones
Tiempo entre arribos	Constante: 24 horas	CREATE	No se establece un comportamiento fijo, ni registros de los tiempos en que se ingresan las guías y/o contenedores. En la simulación se refleja con esta expresión que la entrada es diaria
Lugar de procesamiento	Planta: 80% Planta 2: 20%	DECIDE	La mayor parte de los envíos (aproximadamente el 80%) se procesa en la planta, la otra se procesa en 1 planta 2 siempre que tenga capacidad)
Tiempo de apertura (Tapertura)	Guías: UNIF(0.5, 1); Contenedores: UNIF(0.5, 2) (Horas)	ASSIGN, PROCESS	Los tiempos de apertura son definidos como atributos para ser empleados en el PROCESS Apertura. Estos tiempos fueron definidos por la experiencia de los trabajadores, debido a que nunca han sido recopilados
Cantidad de Bultos (CantBultos)	Guías: ANINT(TRIA(0.999, 11, 156)) Contenedores: ANINT(TRIA(61, 609, 1.12e+003))	ASSIGN, SEPARATE	Las expresiones son obtenidas a partir de las observaciones de tiempos recogidas. El SEPARATE representa la división de cada entidad (guía o contenedor) en bultos
Tipo de Bultos	Misceláneas: 75%, Perecederos: 25%	DECIDE	Los paquetes pueden ser misceláneas o perecederos
Tiempo de procesamiento de perecederos en la Aduana	1.19 + ERLA(0.101, 3) (Minutos)	PROCESS	Las expresiones son obtenidas a partir de las observaciones de tiempos recogidas.
Tiempo de procesamiento de misceláneas en la Aduana	21 + 29 * BETA(1.27, 1.16) (Segundos)	PROCESS	Las expresiones son obtenidas a partir de las observaciones de tiempos recogidas.
Tipo de Misceláneas	Medicinas: 10%	DECIDE	Los bultos de medicina requieren un marcado manual
Tiempo de Marcado Manual	55 + 3 * BETA(1.04, 0.834) (segundos)	PROCESS	Las expresiones son obtenidas a partir de las observaciones de tiempos recogidas.
Problemas en bultos de misceláneas	Sin problemas: 97% Con problemas: 3%	DECIDE	Algunos bultos son de interés de la Aduana y son retirados del proceso para su análisis

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

Bultos restantes por procesar	Misceláneas: Apertura.WIP+Aduana Miscelaneas.WIP == 0 Perecederos: Apertura.WIP+Aduana Perecederos.WIP == 0	DECIDE (por condición)	Cuando no queden más bultos por procesar, las jaulas serán llenadas con la cantidad de bultos existentes aunque sean menos de 40.
Cantidad de bultos a poner en la jaula	Misceláneas: BatchSizeM: 40 o NQ(Llenado de Jaula M.Queue)+1 Perecederos: BatchSizeP: 40 o NQ(Llenado de Jaula P.Queue)+1	DECIDE, ASSIGN	Se fijan de acuerdo a la muestra
Tiempo de Clasificación	Misceláneas: $10 + 3.68 * BETA(1.71, 1.31)$, Perecederos: UNIF(23, 26.8) (Minutos)	ASSIGN,PRO CESS	Representa el tiempo que demoran los trabajadores en clasificar toda una jaula. Las expresiones son obtenidas a partir de las observaciones de tiempos recogidas.
Tiempo de pesaje, ingreso y conformado de sacas	$3 + 3.39 * BETA(1.47, 1.85)$ (Minutos)	PROCESS	Las expresiones son obtenidas a partir de las observaciones de tiempos recogidas.

Fuente: elaboración propia

La **Figura 2** muestra el modelo de simulación del proceso de la planta.

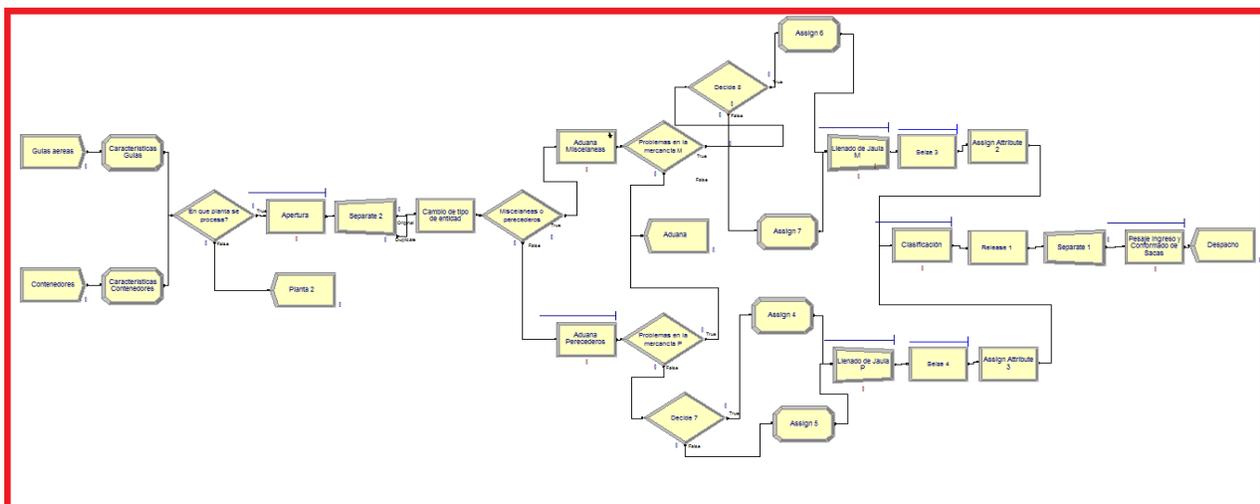


Figura 2. Modelo de simulación del proceso en la planta

Fuente: elaboración propia

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

Validación del modelo

El modelo ha sido elaborado con base en la información real y actual de la empresa y abarca las principales actividades que constituyen el objetivo de la simulación.

Para una validación total, es necesario contar con la ayuda de expertos que conozcan en profundidad los procesos de operacionales de la empresa, requisito existente en la Dirección de operaciones de la EMCI, con cuyos expertos se contrastaron estos resultados. No obstante, una validación más robusta estaría quedando pendiente para otras etapas del estudio, dado que el mismo se hizo durante una etapa de introducción de otros cambios organizacionales en la planta.

Simulación/explotación del modelo y análisis de los resultados

Para demostrar el funcionamiento de los modelos y su utilidad se ejecutó una corrida en la que se ajustaron los valores de entrada de datos para garantizar que la versión del software Arena utilizada no afectara su ejecución (**Figura 3**). Los ajustes realizados son:

- Cantidad de bultos para las guías: constante-20
- Cantidad de bultos para los contenedores: constante-40
- El resto de los parámetros se mantuvo igual.

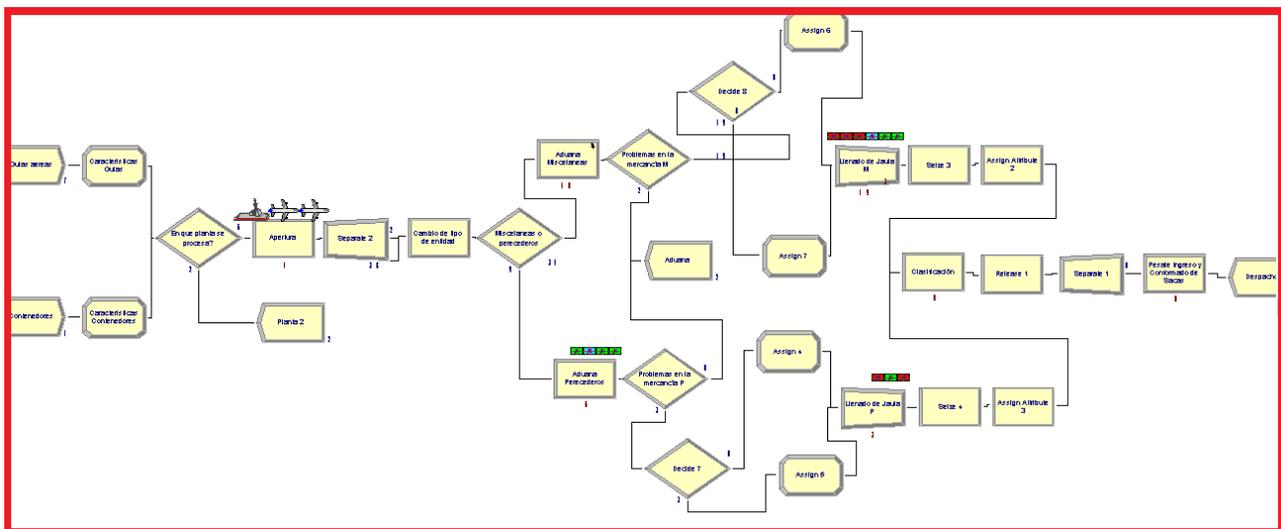


Figura 3. Corrida del Modelo de Simulación

Fuente: elaboración propia

Propuesta de mejora a partir de evaluar nuevos escenarios

El porcentaje de utilización de los técnicos para el tiempo estudiado fue de 3.7% (notar que este dato puede estar determinado porque justamente se están experimentando nuevas formas de organización en la planta para incidir en la mejora del proceso), lo cual reveló que se podía reducir el número de técnicos sin afectar el desempeño del proceso. En las condiciones dadas, se puede emplear un solo técnico y su utilización sería 42% aproximadamente (**Figura 4**).

Informe principal	
Instantaneous Utilization	Average
Técnico	0.4196

Figura 4. Dedicación de un empleado para atender el volumen de información

Fuente: elaboración propia, usando el software Arena

Por otra parte, el reporte del software Arena ofrece los tiempos asociados a las diferentes actividades y el tiempo total de las entidades en el proceso. En la **Figura 5** se muestra el tiempo promedio por bultos.

Total Time	Average
Bultos	1.5783

Figura 5. Tiempo en horas promedio de bultos

Fuente: elaboración propia con el software Arena

A partir de la adaptación corrida del modelo, cada bulto está en el proceso aproximadamente 1,6 horas. Para analizar más profundamente este tiempo, se puede estudiar los tiempos por actividad, que son ofrecidos por el software también (**Figura 6**).

Time per Entity

VA Time Per Entity	Average
Aduana Miscelaneas	0.00955551
Aduana Perecederos	0.01953714
Apertura	0.7513
Clasificación	0.2094
Marcado manual	0.01264580
Miscelaneas comunes	0.00793535
Pesaje Ingreso y Conformado de Sacas	0.06016847

Figura 6. Tiempo (h) de demora de los bultos por actividad

Fuente: elaboración propia con el software Arena

Las actividades en las que más se demoran los bultos son: la apertura y la clasificación, esto se debe, principalmente a que son actividades manuales. En el caso particular de la primera actividad mencionada, este tiempo está influenciado por las condiciones en que llegue la guía aérea o contenedor marítimo, y por el tamaño de los mismos. En la clasificación el tiempo es mayor que en otras actividades porque el período de clasificación recoge el tiempo en que se clasifican todos los bultos de una jaula.

Discusión

Luego de haber implementado la metodología para la creación de un modelo de simulación en la planta de clasificación de paquetería de la Empresa de Mensajería y Cambio Internacional, se pueden interpretar los resultados principales como se resume a continuación:

- Para representar fidedignamente un sistema real en un modelo de simulación es imprescindible el análisis previo para entender cómo funciona el sistema que descansa en la recopilación de todos los datos posibles que intervienen en el proceso.
- A partir de la corrida del modelo, se obtiene un informe que recoge todos los valores estadísticos y las variables manejadas en el sistema; con el que se puede establecer un estudio del mismo para la búsqueda de problemas u oportunidades de mejoras.
- Con el ajuste realizado para poder ejecutar el modelo se pudo determinar que el porcentaje de utilización de los técnicos era muy bajo, lo cual indicaba que se podía disminuir el número de técnicos sin afectar negativamente el proceso. Este escenario se analizó con un técnico para un uso de alrededor del 42% del tiempo.
- En el caso del análisis de la variable tiempo, de forma general, los bultos no están un tiempo muy prolongado en el procesamiento en la planta de clasificación, el cual es de alrededor de 1,6 horas, luego de haber aplicado medidas organizativas en los últimos meses. Sin embargo, durante el estudio se pudo constatar con los especialistas de la Dirección de Operaciones de la EMCI que los tiempos de mayor demora ocurren en la cadena de suministro, desde el arribo de los envíos al país, la extracción de la carga del aeropuerto y, luego la espera por la llegada de un transporte para su distribución. Esto sugiere que se debe expandir la investigación a estos otros eslabones de la cadena que inciden de forma determinante en el tiempo de entrega al cliente final.

La experiencia obtenida de la simulación del proceso analizado en la EMCI, sugiere que para una mejora significativa de los indicadores de desempeño de procesos operacionales en toda la cadena de valor sería aconsejable modelar dichos procesos, siendo los gemelos digitales²¹ una alternativa con gran potencial, al permitir replicar, de forma virtual, el funcionamiento de los procesos reales en todos los eslabones de la cadena, y que, a través de las simulaciones, facilite anticipar escenarios y predecir el comportamiento de la cadena de extremo a extremo. Sin embargo, existen ciertas premisas necesarias para la aplicación de gemelos digitales que hoy la EMCI no cumple. Se necesita capturar los datos en tiempo real de todos los procesos, mediante sensores y otros modelos de información que en su conjunto permitan reproducir virtualmente los procesos de la cadena de suministro.

A la altura de realizada esta investigación, algunas condiciones se estaban preparando en la EMCI, incluyendo la introducción de líneas de automatización en algunas áreas, como la planta de clasificación,

lo cual facilitará la adopción de los gemelos digitales para incidir de forma más efectiva en la optimización de sus procesos y, con ello, mejorar los indicadores claves de desempeño de la empresa.

Conclusiones

La simulación de eventos permite tanto el análisis de la situación real de un proceso como el de posibles escenarios, lo que facilita no solo detectar problemas y oportunidades de mejora, sino también la evaluación de las medidas que pudieran implementarse para optimizar los procesos.

La aplicación de la metodología para crear y explotar modelos de simulación en la EMCI arrojó interesantes resultados. Por una parte, se observó que una reducción de los técnicos que trabajaban directamente en parte del proceso era posible, sin afectar el rendimiento, y se modeló para un técnico que reportó un 42% del tiempo empleado directamente en el mismo.

En el caso del análisis de la variable tiempo, de forma general, según fue visto con los expertos de la Dirección de Operaciones de la EMCI, luego de haber aplicado medidas organizativas en los últimos meses para resolver la problemática de entrega de paquetería, se aprecia que el tiempo de 1,6 horas, que están los bultos en el procesamiento, es razonable de forma general. Sin embargo, un análisis relativo de las tareas que más tiempo ocupan son justamente las actividades manuales (apertura y clasificación), lo cual sugiere que pudiera ser necesario en el futuro introducir mayor automatización de forma priorizada en esas tareas.

Para adoptar los gemelos digitales, la EMCI tiene que monitorear, con el apoyo de otras tecnologías como los sensores, la Internet de las Cosas y la computación en la nube, entre otras, los envíos de extremo a extremo, con lo cual se podría extender la simulación de eventos en toda la cadena de valor, en tiempo real. Próximas investigaciones abordarán algunas de estas aristas en el camino hacia la implementación de gemelos digitales en los procesos operacionales de empresas transitarias en Cuba.

Agradecimientos

Se agradece a la Dirección de Operaciones y al Departamento de Informática de la Empresa de Mensajería y Cambio Internacional; en particular, al Director de Informática Julio Quial Sotolongo y a la Especialista de la Dirección de Operaciones Katia Rodríguez Robert, por el apoyo en la provisión de datos e información en el contexto de los procesos operacionales observados.

Referencias bibliográficas

1. Vacas Aguilar F. Transformación digital: del lifting a la reconversión. Tecnología, Ciencia y Educación; (10):135-43. <https://doi.org/10.51302/tce.2018.199>
2. Fernández TD. Taxonomía de transformación digital. Revista Cubana de Transformación Digital. 2020;1(1):4-23. <https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/62>

SIMULACIÓN Y GEMELOS DIGITALES DE PROCESOS OPERACIONALES: CASO DE ESTUDIO EN UNA EMPRESA TRANSITARIA

3. Santos CH, de Queiroz JA, Leal F, Montevechi JA. Use of simulation in the industry 4.0 context: Creation of a Digital Twin to optimise decision making on non-automated process. *Journal of Simulation*. 2020 Sep 6:1-4. <https://doi.org/10.1080/17477778.2020.1811172>
4. Husain B, Gemelos digitales y simulaciones, in ABB REVIEW 2019, ABB Switzerland Ltd.©2019: Baden, Suiza. p. 41. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A3437&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>
5. Flores-García E, Kim GY, Yang J, Wiktorsson M, Do Noh S. Analyzing the Characteristics of Digital Twin and Discrete Event Simulation in Cyber Physical Systems. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems 2020 Aug 30 (pp. 238-244). Springer, Cham. https://doi.org/10.1080/17477778.2020.181117210.1007/978-3-030-57997-5_28
6. Malakuti S, Schlake J, Grüner S, Schulz D, Gitzel R, Schmitt J, Platenius-Mohr M, Vorst P. El gemelo digital: un componente de software clave en Industria 4.0. *ABB Review*, 2019. <https://new.abb.com/news/es/detail/14585/el-gemelo-digital-un-componente-de-software-clave-en-industria-40>
7. Liu M, Fang S, Dong H, Xu C. Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. *Journal of Manufacturing Systems*. 2021 Jan 1;58:346-61. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.017>
8. Robles JA, Nava CF, Ramirez LG. Los gemelos digitales, la última frontera de la Ingeniería Mecatrónica. X Simposium internacional de investigación multidisciplinaria. 2020: Villahermosa, Tabasco. https://www.researchgate.net/publication/348850216_Los_gemelos_digitales_la_ultima_frontera_de_la_Ingenieria_Mecatronica
9. Chiquito MV, Plua JC, Chong MB, Chong CB. Gemelos digitales y su evolución en la industria. *RECIMUNDO*. 2020 Nov 22;4(4):300-8. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).noviembre.2020.300-308](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).noviembre.2020.300-308)
10. Parrot A, Warshaw L, Industry 4.0 and the digital twin, in Deloitte University Press. Deloitte Development LLC, 2017. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf
11. Aheleroff S, Xu X, Zhong RY, Lu Y. Digital twin as a service (DTaaS) in industry 4.0: an architecture reference model. *Advanced Engineering Informatics*. 2021 Jan 1;47:101225. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101225>
12. Korth B, Schwede C, Zajac M. Simulation-ready digital twin for realtime management of logistics systems, in IEEE International Conference on Big Data (Big Data). 2018. <https://doi.org/10.1109/BigData.2018.8622160>
13. Zelada S. COVID-19, un acelerador de la transformación digital. Deloitte Touche Tohmatsu Limited (DTTL)[online] 2020. <https://www2.deloitte.com/pe/es/pages/technology/articles/COVID19-un-acelerador-de-la-transformacion-digital.html>
14. Valdés Figueroa L, and Pérez G. Transformación digital en la logística de América Latina y el Caribe. 2020. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/46018>
15. Antón Rodríguez S. Servicio de paquetería en Cuba: Que sean más las soluciones que los problemas, in *Granma*. 2021. <https://www.granma.cu/cuba/2021-05-13/servicio-de-paqueteria-en-cuba-que-sean-mas-las-soluciones-que-los-problemas-13-05-2021-02-05-42?page=2>

16. Contreras Contreras F, Olaya Guerrero J, Matos Uribe F. Gestión por procesos, indicadores estándares. 2016. <https://universoabierto.org/2017/04/08/gestion-por-procesos-indicadores-y-estandares-para-unidades-de-informacion/>
17. Cruz Lezama O. Indicadores de Gestión. 2007. <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MLGA/MLGA-03/semana2/indicadores-de-gestion.pdf>
18. Mussomeli A, Parrott A, Umbenhauer B, Warshaw L. Tendencias de tecnología 2020. Deloitte Insights, 2020: p. 31. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends/2020/digital-twin-applicationsbridging-the-physical-and-digital.html>
19. López-Paredes A. Industrial Engineering in the Digital Disruption Era, in Lecture Notes in Management and Industrial Engineering, F.K. Calisir, Orhan Editor. © Springer Nature Switzerland AG 2020: Turquía. ISBN: 978-3-030-42416-9. 2020. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-42416-9>
20. Rodríguez Vilches R. Simulación de un proceso de fabricación, Tesis de fin de Máster. Universidad Pública de Navarra, 2017: p.151 <https://academic.e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/25962/Memoria.pdf;jsessionid=97BEA6195C30D63C78072D2CBE0F2A4F?sequence=1>
21. Shao G, Jain S, Laroque C, Lee L, Lendermann P, and Rose O. Digital Twin for Smart Manufacturing: The Simulation Aspect, in Winter Simulation Conference. 2019, IEEE: National Harbor, MD, USA. <https://doi.org/10.1109/WSC40007.2019.9004659>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no presentar conflictos de intereses

Contribución de los autores

- Yarelis Hernández Gómez: participó en el diseño de la investigación, propuesta metodológica, simulación de procesos operacionales y redacción del manuscrito.
- Tatiana Delgado Fernández: participó en el diseño de la investigación, propuesta metodológica, redacción, edición y validación del manuscrito.