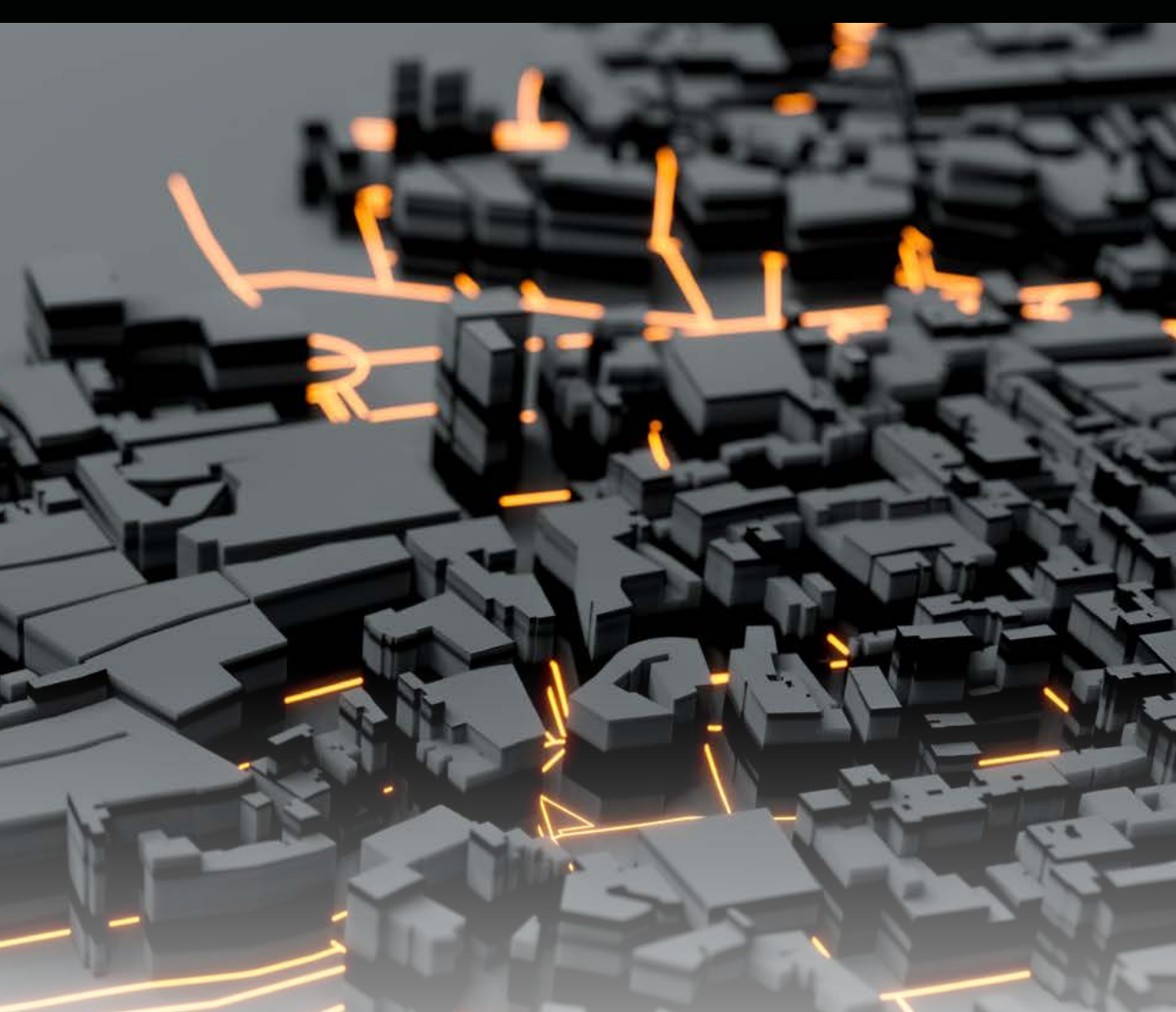




FUNDAMENTOS DE SIMULACIÓN CON FLEXSIM

Serie:
INGENIERÍAS

Guía Práctica

FUNDAMENTOS DE SIMULACIÓN CON FLEXSIM

Yesid Ediver Anacona Mopan
Jhon Alexander Segura Doradoz
Programa Ingeniería Industrial

Grupo de Investigación
Cadenas de valor

Calle 4 # 8-30
Popayán, Colombia
e-mail: selloeditorial@unicomfacauc.edu.co
Teléfono: 57+(2) 8386000 Ext 148.
www.unicomfacauc.edu.co

Colección: Material docente

Serie: Ingenierías

Rectora: Dra. Lina Uribe

Edición Académica y corrección de estilo: Paola Martínez Acosta

Diseño de carátula: Oscar Eduardo Chávarro Vargas

Diseño y diagramación: Oscar Eduardo Chávarro Vargas

Editor General de Publicaciones: Julio Eduardo Mejía Manzano

© Corporación Universitaria Comfacauc UNICOMFACAUC, 2023

© Yesid Ediver Anacona Mopan, Jhon Alexander Segura Dorado

Primera edición en español

Junio de 2023

ISBN: 978-628-95398-8-2

Texto financiado por la Corporación Universitaria Comfacauc-Unicomfacauc, en el marco de la convocatoria interna de Publicación de Material Docente, coordinada por la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado: electrónico, mecánico, fotocopia, etc., sin permiso previo de los titulares de los derechos de la propiedad intelectual.

CONTENIDO

- 11 Presentación
- 13 Introducción
- 15 Fundamentación teórica
- 17 Fundamentación metodológica
- 18 Fundamentación curricular y didáctica

- 19 **Capítulo 1.**
Introducción a la simulación
- 19 Definición de la simulación
- 20 Etapas para la elaboración de un estudio de simulación
- 21 Ventajas de la simulación
- 22 Desventajas de la simulación

- 23 **Capítulo 2.**
El papel de la estadística en la simulación
- 23 ¿Qué es la estadística?
- 24 La estadística en la simulación
- 24 División en la estadística
- 25 Términos básicos de la estadística
- 29 Tipos de variables y escalas de medición
- 30 Introducción a las variables aleatorias
y a las distribuciones de probabilidad

- 35 **Capítulo 3.**
Datos de entrada a un modelo de simulación
- 36 Preparación de los datos
- 36 Limpieza de datos
- 37 Gráfico de dispersión

41	Capítulo 4.
	Introducción al simulador FLEXSIM
43	Modelo 3D
43	Objetos (recursos fijos, ejecutores de tareas, elementos de flujo)
44	Biblioteca y caja de herramientas (panel izquierdo)
45	Propiedades (panel derecho)
46	Creación de un modelo de simulación
47	Introducción a la caja de herramientas
50	Adición de un nuevo componente de herramienta
51	Introducción al panel de propiedades
52	Cómo llegar a las propiedades
53	Edición de una propiedad
53	Nombre de la propiedad
54	Caja de texto
57	Capítulo 5.
	Caso de aplicación con FLEXSIM
57	Fábrica de productos metálicos ornamentales
59	Descripción específica de la sección de desbarbado
61	Construcción de un modelo
72	Resultados del modelo de base de simulación
75	Ejercicios para que el estudiante desarrolle como práctica

ÍNDICE DE TABLAS

34	Tabla 1. Datos tomados
38	Tabla 2. Datos históricos
49	Tabla 3. Descripción de las herramientas
60	Tabla 4. Capacidad de lotes
65	Tabla 5. Procesamiento de productos

ÍNDICE DE FIGURAS

16	Figura 1. Estructura metodológica del documento
21	Figura 2. Estructura metodológica de un modelo de simulación
26	Figura 3. Distancia entre dos objetos
27	Figura 4. Selección de muestra
28	Figura 5. Selección de muestra
28	Figura 6. Concepto de estimador
37	Figura 7. a) Relación lineal positiva (directa o creciente) b) Relación lineal negativa (indirecta o decreciente) c) Relación no lineal d) Falta de relación
38	Figura 8. Gráfico de dispersión
39	Figura 9. Datos atípicos
42	Figura 10. Interfaz del modelo 3D
42	Figura 11. Herramienta de Process Flow
47	Figura 12. Unidades del modelo
48	Figura 13. Caja de herramientas
51	Figura 14. Panel de propiedades
52	Figura 15. Panel de propiedades
53	Figura 16. Edición de propiedades
55	Figura 17. Distribución estadística
56	Figura 18. Editar código
59	Figura 19. Mapa conceptual área de desbarbado
61	Figura 20. Nuevo modelo y selección de unidades
62	Figura 21. Configuración del Source
63	Figura 22. Configuración para crear los productos por porcentaje
63	Figura 23. Configuración para crear los productos con color
64	Figura 24. Zonas de espera y banda transportadora
65	Figura 25. Configuración de las máquinas de desbarbado
66	Figura 26. Conexiones de los puertos de salida de la Zona de espera 1
66	Figura 27. Conexión de los conveyors
67	Figura 28. Configuración del contenedor para lotear los productos
68	Figura 29. Configuración de los contenedores
69	Figura 30. Configuración de ruta de montacargas
70	Figura 31. Conexiones y ajustes de los operarios
71	Figura 32. Paradas programadas

- 71 Figura 33. Horario de tiempo
- 34 Figura 34. Uso de los Dashboard para visualizar las estadísticas
- 73 Figura 35. Tiempo promedio de espera en segundos
- 74 Figura 36. Salida de contenedores por hora
- 74 Figura 37. Distancia recorrida en metros
- 75 Figura 38. Porcentaje de ocupación de los operarios

PRESENTACIÓN

Los sistemas de producción son cada vez más complejos y los métodos tradicionales se quedan cortos a la hora de interpretar su comportamiento, por lo que es necesario recurrir a herramientas capaces de representar y evaluar modelos que permitan generar estrategias de mejora continua para ser más competitivos. La simulación tiene ciertas características que le permiten suplir esta necesidad, pues hoy en día existen software especializados como Flexsim, donde se pueden recrear procesos con animaciones 3D, analizarlos y mejorarlos.

Mediante la presente guía se pretende dar a conocer los conceptos fundamentales de simulación bajo un enfoque práctico a través del software de simulación de eventos discretos Flexsim.

Los capítulos están conformados de la siguiente manera: en el primer capítulo se hace una aproximación a los conceptos básicos de simulación, así como su importancia, se expone la estructura metodológica para realizar un estudio de simulación y las ventajas y desventajas de la simulación. En el segundo capítulo se abordan todos los conceptos de la estadística que soportan los modelos de simulación. En el tercer capítulo se aborda todo el análisis de datos de entrada a un modelo de simulación. En el cuarto capítulo se hace una introducción al simulador Flexsim. En el quinto capítulo se presenta un caso modelado paso a paso con Flexsim.

Palabras Clave: Simulación, estadística, eventos discretos, Flexsim.

INTRODUCCIÓN

La simulación se ha convertido en una herramienta útil para corroborar la información teórica que se aborda en los diferentes cursos de Ingeniería Industrial, ya que permite percibir las capacidades y comportamiento de un sistema, sin la necesidad de reproducirlo o experimentar con el real, ya sea por los costos, riesgos y/o limitantes que esto conlleve (Faca, Barrera & Mansilla, 2021).

Este documento presenta el desarrollo de una guía para entender los conceptos de simulación y su aplicabilidad en FlexSim, un poderoso software de simulación que permite visualizar y probar cambios en las operaciones y procesos de logística, manejo de materiales y manufactura de una manera rápida y sencilla, evitando los altos costos, riesgos y el extenso tiempo que implica la experimentación de cambios en el mundo real y su análisis por prueba y error.

El software también permite analizar diferentes escenarios y condiciones, encontrando la solución más conveniente, todo ello en un entorno gráfico en tres dimensiones (3D) y (2D) con los últimos avances tecnológicos que facilitan la comunicación y comprensión de las ideas para una acertada toma de decisiones. Los gráficos, informes y estadísticas presentan los resultados del modelo con el software de simulación de forma clara y precisa (Flexsim, 2021).

El documento se compone de 5 capítulos. En el primer capítulo se presentan todos los conceptos básicos de la simulación, la metodología para estructurar un estudio de simulación y las ventajas del simulador sobre otras herramientas útiles para la toma de decisiones.

En el segundo capítulo se muestra la importancia de la estadística para llevar a cabo con éxito un estudio de simulación, por lo que se retoman los conceptos de estadística descriptiva e inferencial y se presentan algunos ejemplos útiles para captar la información. Asimismo, se discuten los tipos de distribuciones de probabilidad más utilizados en los modelos de simulación.

El tercer capítulo está dedicado a la recogida, preparación y análisis de los datos de entrada a los modelos de simulación, donde se expone la importancia de revisar la información de entrada con la que va a trabajar el modelo de simulación; este apartado es importante porque la fia-

bilidad de los datos resultantes depende de la fiabilidad de los datos de origen.

En el cuarto capítulo se hace una introducción al software FlexSim, donde se realiza una descripción general de la interfaz gráfica del software, se explica el funcionamiento de los recursos fijos y los ejecutores de tareas, las conexiones entre los objetos, las vistas del modelo y el uso de la ventana de propiedades.

Para el quinto y último capítulo se presenta la simulación de una empresa dedicada a la producción de productos metálicos ornamentales, allí se describe el paso a paso de la construcción del modelo, este caso tiene como objetivo poner en práctica lo aprendido en el cuarto capítulo; también se presentan los resultados a través de los indicadores y se deja algún ejercicio complementario para que los profesores puedan practicar la modelación.



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Los orígenes de la simulación se remontan a la Segunda Guerra Mundial cuando los matemáticos, J.V Neumann y S. Ulam, tenían el reto de resolver un problema complejo relacionado con el comportamiento de los neutrones. Los experimentos basados en prueba y error eran muy caros y el problema era demasiado complicado para ser abordado mediante técnicas analíticas. La aproximación que eligieron se basa en la utilización de números aleatorios y distribuciones de probabilidad. El método desarrollado fue llamado “Método de Montecarlo” por la generación de números aleatorios y el juego de la ruleta (Bolaños, 2008).

En la guerra se intensificó el uso de la simulación para predecir el comportamiento de las trayectorias de los misiles, las rutas de abastecimiento, etc. A partir de los años 60 aparecieron los primeros programas de simulación de eventos discretos como el GPSS (General Purpose System Simulator) de IBM, estos programas fueron la base para estudiar problemas de logística y transporte producción y servicios(Cao, 2002).

Desde su aparición en el mundo la técnica de la simulación ha venido ocupando un papel privilegiado entre las herramientas de la investigación de operaciones (Solar Ávila, 2018). Aunque se reconocían los enormes beneficios de la simulación como apoyo a la toma de decisiones, las dificultades para aplicar esta técnica a la vida real de las empresas eran difíciles de superar, ya que los modelos eran costosos de construir y validar, poco flexibles ante condiciones inestables y normalmente concebidos y dirigidos por expertos, no por operadores del sistema, lo que impedía su aplicación efectiva a los problemas de las organizaciones (Palma & Martínez, 2009).

En la actualidad, la simulación se realiza mediante ordenadores y programas informáticos específicos, siendo una poderosa técnica para resolver problemas reales; se experimenta mediante un modelo numérico, con el fin de que con los resultados se pueda obtener una aproximación a las características del sistema.



Algunos de los ámbitos en los que se aplica la simulación como herramienta de ayuda a la toma de decisiones estratégicas u operativas, son: la producción, las redes de distribución, el transporte (terrestre, marítimo y aéreo), la sanidad, la empresa, la administración y la educación. El uso de la simulación en los procesos educativos de la ingeniería es un método de enseñanza y aprendizaje eficaz para lograr en nuestros alumnos el desarrollo de un conjunto de habilidades que permitan modos de actuación superiores.

El empleo de la simulación permite acelerar el proceso de aprendizaje y contribuye a aumentar su calidad. No puede ser un elemento aislado del proceso de enseñanza, sin ser un factor integrador, sistémico y ordenado de este proceso. Su uso debe tener una concatenación lógica dentro del micro currículo de la asignatura que se corresponda con las necesidades y requerimientos del Plan de Estudio y los Programas Analíticos de las diferentes asignaturas.



FUNDAMENTACIÓN METODOLÓGICA

El documento está estructurado para que el estudiante tenga un orden de aprendizaje coherente, así que inicialmente el lector entenderá los conceptos de la simulación en la teoría y en la práctica, también entenderá cuáles son las ventajas de la simulación como herramienta de apoyo a la toma de decisiones, al igual que el orden metodológico en el que se debe abordar un estudio de simulación; seguidamente se verá el rol de la estadística en los modelos de simulación y posteriormente con el entendimiento de los conceptos estadísticos podrá realizar un análisis a los datos de entrada al modelo. Ya teniendo claros los conceptos de simulación y estadística, se puede entrar en el manejo del simulador, para esta guía se utilizó el software FlexSim. Por último, puede ponerse en práctica la teoría aprendida desarrollando un caso práctico de simulación de una empresa manufacturera, la estructura metodológica se puede ver en el siguiente diagrama (Figura 1).

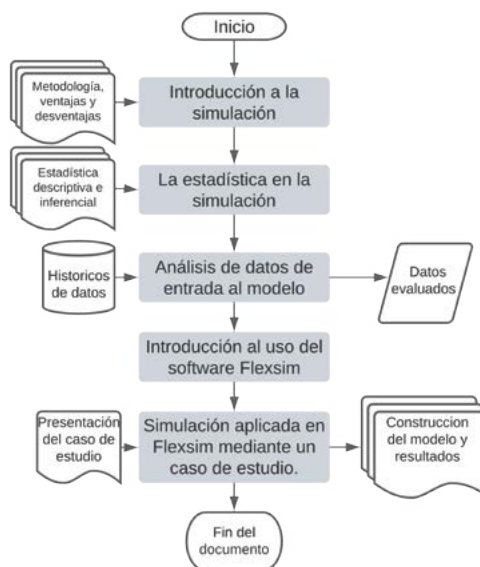


Figura 1. Estructura metodológica del documento
Fuente. Elaboración propia.

FUNDAMENTACIÓN CURRICULAR Y DIDÁCTICA

La formación profesional de los Ingenieros Industriales se apoya en procesos de enseñanza-aprendizaje abordados con diferentes niveles de complejidad desde sus propósitos particulares; dicha complejidad se define de acuerdo a la percepción que cada uno de los participantes del proceso tiene para las asignaturas y sus estrategias. Esta guía es útil para apoyar los planes de estudio de las asignaturas orientadas a la producción y la logística. A continuación se presentan las asignaturas con mayor potencial para ser apoyadas por la simulación en los procesos de enseñanza:

- ▶ Ingeniería de métodos y procesos: se pueden simular los diagramas de ensamble para corroborar si los tiempos teóricos calculados tienen similitud en la práctica.
- ▶ Planificación de la producción: las políticas de control de inventarios se pueden simular alterando los comportamientos de la demanda para ver si las políticas de control de inventarios establecidas pueden hacer frente a estas variaciones sobre la demanda.
- ▶ Diseño y distribución en planta: a partir de los conceptos teóricos existentes de diseño y distribución en planta se puede validar cuál será el comportamiento antes de montar las instalaciones en físico.
- ▶ Logística y cadenas de suministro: se puede simular el flujo terrestre, marítimo o aéreo en función de los niveles de servicio del cliente.

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN A LA SIMULACIÓN

DEFINICIÓN DE LA SIMULACIÓN

Para el desarrollo de esta guía es conveniente empezar por definir el concepto de simulación. La simulación representa el funcionamiento de un proceso o sistema del mundo real a lo largo del tiempo, ya sea de forma manual o por medio de un ordenador. Otros autores, como Kelton et al. (2008), definen la simulación como un método para estudiar una amplia variedad de modelos del mundo real a través de la simulación numérica, utilizando un software diseñado para imitar las operaciones o características del sistema (Simón, 2016).

ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO DE SIMULACIÓN

Según Marmolejo (2016) en su libro “Un primer paso para la simulación en Flexsim”, un estudio debe seguir los siguientes pasos: inicialmente se debe formular el problema a resolver o validar con la simulación, así como las variables y factores que están relacionados con el problema y los indicadores de desempeño que serán útiles para medir el problema. Luego se deben establecer los objetivos; es decir, qué preguntas se quieren resolver con la simulación. Enseguida se estructura la conceptualización del modelo, que es básicamente un diagrama de flujo o hilo conductor que representa la lógica de secuenciación del sistema a simular, y se recolectan y procesan los datos, que pueden ser obtenidos a través de históricos u observaciones. Con los datos se puede construir el modelo de simulación utilizando el software FlexSim, es necesario verificar que el modelo siga la lógica real del sistema, luego hay que corroborar si los datos resultantes del modelo de simulación tienen correlación con los datos del modelo real, si no hay correlación hay que verificar, pero si hay evidencia de que el modelo de simulación está de acuerdo con el sistema real, ya se pasa a planificar los escenarios de mejora. Finalmente se realizan múltiples corridas y se documenta; la estructura metodológica general para realizar un estudio de simulación se presenta en el siguiente diagrama (Figura 2).



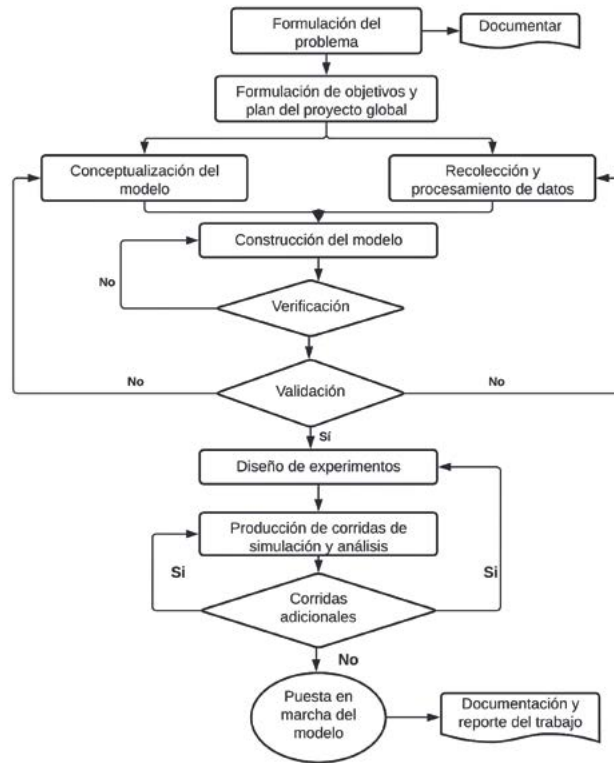


Figura 2. Estructura metodológica de un modelo de simulación
Fuente. Elaboración propia.

VENTAJAS DE LA SIMULACIÓN

Entre las ventajas más destacadas de la simulación se encuentran las siguientes:

- ▶ Realismo: gracias a los avances tecnológicos, hoy en día disponemos de recursos gráficos que nos permiten observar los sistemas más realistas.
- ▶ El funcionamiento real del sistema no se interrumpe: con la simulación es posible probar nuevas estrategias, reglas, políticas de decisión, flujos de información, procedimientos organizacionales y operativos, sin alterar el curso del sistema a evaluar.
- ▶ Aplicación a sistemas inexistentes: se puede recrear un diseño que no existe pero que está en la

- mente del diseñador y evaluar su comportamiento.
- Acortamiento o alargamiento de la representación en tiempo real: la representación en tiempo real puede comprimirse en los modelos de simulación. El funcionamiento equivalente del sistema real en días, semanas o meses, puede simularse en un ordenador en segundos o minutos, es decir, es posible ver cómo reacciona un sistema ante una perturbación en menos tiempo en comparación con el que se aplicaría en el sistema real.

DESVENTAJAS DE LA SIMULACIÓN

Algunas de las desventajas son las siguientes:

Si el modelo de simulación se alimenta con datos e información erróneos recogidos del sistema real, los resultados pueden hacer que el analista tome una decisión equivocada.

No se obtienen resultados precisos ya que la simulación sólo proporciona estimaciones, porque la mayoría de los sistemas reales se rigen por variables aleatorias imprevisibles.

La simulación no es una técnica de optimización, la simulación es una técnica de evaluación que se utiliza para responder a preguntas del tipo ¿Qué pasa si?, pero no para preguntas del tipo ¿Qué es lo mejor?; la simulación no genera soluciones, sino que evalúa las que se han propuesto.



CAPÍTULO 2

EL PAPEL DE LA ESTADÍSTICA EN LA SIMULACIÓN

¿QUÉ ES LA ESTADÍSTICA?

Es una ciencia que se encarga de proporcionar diferentes métodos y procedimientos para recoger, clasificar, resumir, encontrar regularidades y analizar datos, así como para hacer inferencias a partir de ellos, con el fin de ayudar en la toma de decisiones y, en su caso, formular predicciones. La estadística surge como la herramienta ideal para cercar los efectos de la incertidumbre inherentes a la gran mayoría de los procesos biológicos, químicos, industriales y de comportamiento humano, donde predominan los efectos del azar y la incertidumbre. Esto nos lleva a preguntarnos cuál es el papel de la estadística en la simulación. Además, cuál es el impacto en los datos finales (Correoso, Chávez & Puig Vázquez, 2011).



LA ESTADÍSTICA EN LA SIMULACIÓN

En el contexto estadístico, entendemos por simulación, la técnica de muestreo estadístico controlado, que se utiliza conjuntamente con un modelo, para obtener respuestas aproximadas a preguntas que surgen en problemas complejos de tipo probabilístico (Diharce, 2008).

La simulación puede entenderse como el arte de construir modelos para estudiar el comportamiento de un sistema real. Un modelo es una representación de un sistema de interés a través de elementos concretos o abstractos. Diversas simulaciones se desarrollan con base en modelos matemáticos de carácter probabilístico o de corte determinístico que no incluye lo aleatorio; la naturaleza del sistema a estudiar generalmente proporciona indicios acerca de cuál ha de ser el modelo más apropiado para su análisis. Para entender cómo se aplica la estadística en la simulación, se debe conocer los tipos de estadísticas que se encuentran (Burbano, 2014).

DIVISIÓN DE LA ESTADÍSTICA

La estadística se divide en dos grandes áreas:

Estadística descriptiva

La estadística descriptiva comprende métodos para organizar, resumir y presentar los datos de forma informativa. Su propósito es únicamente exploratorio y se limita a describir lo que se observa en una población o muestra. Su objetivo es la exploración sin restricciones de los datos en busca de regularidades interesantes. Las conclusiones se aplican únicamente a los individuos y circunstancias de los que se obtuvieron los datos, y son informales y se basan en lo que se observa en los datos (Burbano, 2014).

Ejemplo: Descripción de la producción mensual de café durante el año 2016 a través de una tabla o gráfico lineal o de barras, además se pueden comparar las variaciones porcentuales del año 2016 con respecto al 2015.



Estadística inferencial

La estadística inferencial consiste en el proceso inductivo que permite inferir o generalizar a toda la población las características observadas en una muestra. Su objetivo es responder a preguntas concretas que se plantearon antes de obtener los datos. Las conclusiones se aplican a un grupo más amplio de individuos o situaciones, son formales y se hace explícito el grado de confianza en ellas (Burbano, 2014)

Ejemplo: Con base en una muestra aleatoria regional de 550 estudiantes en el Valle del Cauca, se encontró que el 45% de ellos están en primaria; esta proporción es generalizada a toda la población del departamento.

TÉRMINOS BÁSICOS DE LA ESTADÍSTICA

En general, la estadística hace uso del método científico para realizar diferentes procesos de análisis de observaciones o datos que luego se convierten en información valiosa para la toma de decisiones en diferentes ámbitos. Sin embargo, la metodología estadística es a menudo mal interpretada debido a un proceso inadecuado que parte los datos, ignorando su origen y el proceso de obtención de estos. Este proceso ignora elementos importantes en el análisis estadístico como los instrumentos de medición utilizados, la población encuestada, las preguntas formuladas o las variables, las escalas de medición, etc. Por eso es importante aclarar algunos conceptos que no deben faltar en el análisis estadístico, como la validez de un estudio (Villarreal & Landeta, 2010).

Validez

En un estudio o investigación, la validez es el grado de valor que se confiere a la información. Una medida es válida cuando mide lo que pretende medir. La validez puede ser de dos tipos: interna y externa (Martínez-García and Martínez-Caro, 2009).

Validez interna: Es el grado en que la medición refleja la situación que pretende medir, a través de esta vali-

¿Es posible responder a las siguientes preguntas ¿El instrumento es adecuado, la medición está bien realizada, la medición puede repetirse y obtener los mismos resultados?

Ejemplo: Si se quisiera medir la distancia entre dos objetos A y B (Figura 3), ¿Qué instrumento podríamos utilizar que proporcione datos confiables?

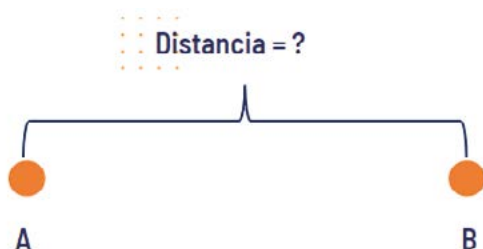


Figura 3. Distancia entre dos objetos
Fuente. Elaboración propia.

Validez externa: Es el grado en que la medición puede generalizarse a otras situaciones no medidas, depende en gran proporción de la conformación adecuada de la muestra a través de métodos estadísticos.

Ejemplo: Un estudio desea concluir sobre el ingreso promedio por vivienda de las familias de la ciudad Cali. Si en el estudio solo se encuestan familias que pertenecen al estrato 1 ¿Se podría concluir que el ingreso promedio calculado sobre ese grupo representa el promedio de ingresos para toda la ciudad?

La respuesta es NO, la información obtenida a partir de ese estudio no podrá ser generalizada a toda la población dado que sólo se tuvo en cuenta cierto sector de la ciudad y se ignoraron las familias del estrato 2 al 6 (Figura 4).

Individuo. Son los elementos u objetos que tienen información sobre el fenómeno estudiado, es decir, aquellos objetos descritos por un conjunto de datos. Los individuos pueden ser personas, pero también pueden ser animales o cosas (Kelmansky, 2009).

Ejemplo: Si se estudia el peso promedio de los estudiantes en una carrera de la universidad, cada uno de los estudiantes son los individuos.





Figura 4. Selección de muestra

Variable. Es cualquier característica de interés de un individuo. Una variable puede tomar distintos valores para distintos individuos (Kelmansky, 2009).

Ejemplo: la edad de los estudiantes de primer semestre o el número de habitantes por vivienda.

Población. Es el conjunto de todos los elementos de interés en un estudio, sobre los cuales se desea información y hacia los cuales se extenderán las conclusiones (Kelmansky, 2009).

Ejemplo: El total de estudiantes matriculados en la universidad o en total de la población en la ciudad de Cali. 3.5.

Muestra. Es cualquier subconjunto representativo de la población, sobre el que se realizan los estudios para obtener conclusiones acerca de las características de la población (Kelmansky, 2009).

Ejemplo: 100 estudiantes seleccionados del total de matriculados en la universidad o 500 personas seleccionadas de la población de Cali.



Figura 5. Selección de muestra

Parámetro. Indicador estadístico calculado teniendo en cuenta los elementos de la población (Kelmansky, 2009).

Ejemplo: Edad promedio de todos los estudiantes matriculados en la universidad o los ingresos promedio de toda la población de la ciudad de Cali.

Estimador. Indicador estadístico calculado teniendo en cuenta los elementos de la muestra (Kelmansky 2009).

Ejemplo: Edad promedio de una muestra de 100 estudiantes matriculados en la universidad o los ingresos promedio de una muestra de 500 personas de la ciudad de Cali.

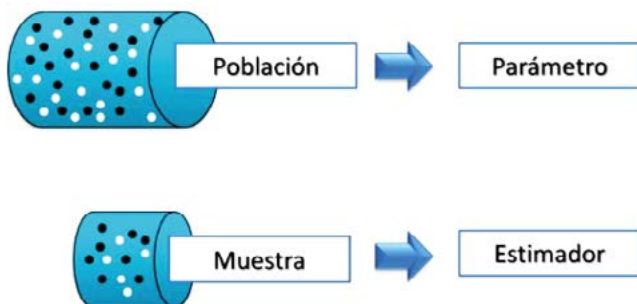


Figura 6. Concepto de estimador
Fuente. Elaboración propia



TIPOS DE VARIABLES Y ESCALAS DE MEDICIÓN

Variables cualitativas

Sus valores (categorías o modalidades) no se pueden asociar naturalmente a un número, ni se pueden hacer operaciones matemáticas con ellos. Estas variables presentan dos escalas de medición: nominal y ordinal (Hidalgo, 2019).

Escala de medición nominal. En las variables con escala de medición nominal, sus valores no se pueden ordenar, es decir que no existe una forma particular para ordenar sus valores (Hidalgo, 2019).

Ejemplos: la religión (católico, cristiano, evangélico, ateo), el género (mujer, hombre), la nacionalidad (colombiano, venezolano, ecuatoriano), etc.

Escala de medición ordinal. En las variables con escala de medición ordinal, sus valores tienen un orden natural o se puede identificar un orden jerárquico entre sus valores o categorías (Hidalgo, 2019).

Ejemplos: el nivel educativo (primaria, secundaria, universitario, especialización, maestría, doctorado, postdoctorado), el estrato socioeconómico (1, 2, 3, 4, 5, 6), los meses del año (enero, febrero, marzo), etc.

Variables cuantitativas

Toman valores numéricos y se pueden hacer operaciones matemáticas con ellos. Estas se clasifican en dos grupos: continuas y discretas (Hidalgo, 2019)

Variables continuas

Las variables continuas pueden tomar cualquier valor real dentro de un intervalo (Hidalgo, 2019).

Ejemplos: la estatura de los estudiantes de este curso, las temperaturas registradas al mediodía durante el mes pasado, el peso de los profesores de estadística, etc.

Variables discretas

Las variables discretas sólo toman valores enteros (Valenzuela, Batanero & Begué, 2021) .

Ejemplos: el número de hijos, el número de carros, el número de materias matrículas este semestre, etc. Tanto las variables continuas como las discretas presentan dos escalas de medición: intervalo y razón.

Escala de medición de intervalo. En estas variables el cero (0) es un valor arbitrario, no implica la ausencia de una característica (Valenzuela, Batanero & Begué 2021).

Ejemplo: una temperatura de cero grados no indica que no hay temperatura, sólo es un valor que toma la variable para esa escala.

Escala de medición de la razón. El cero (0) refleja ausencia de la característica, implica la ausencia de una característica.

Ejemplo: un valor cero en el número de hijos quiere decir que esa persona no tiene hijos

INTRODUCCIÓN A LAS VARIABLES ALEATORIAS Y A LAS DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Uno de los conceptos más importantes en estadística de probabilidad es el de variables aleatorias, una característica medible que toma diferentes valores con probabilidades determinadas. Las variables aleatorias de un sistema se deben modelar a ciertas ecuaciones matemáticas que sean capaces de reducir su variabilidad. En la mayoría de los casos dicha variabilidad puede clasificarse dentro de alguna distribución de probabilidad, por lo que uno de los pasos más importantes en todo proceso de modelado de simu-



lación es encontrar el tipo de distribución de probabilidad que modela la variabilidad de los datos de entrada del sistema. Por lo tanto, una distribución de probabilidad se define como una función que asigna a cada suceso definido sobre la variable aleatoria la probabilidad que dicho suceso ocurra (Beltrán-Pellicer, Godino, & Giacomone, 2018).

Distribuciones de probabilidad

A continuación se exponen las distribuciones de probabilidad de mayor uso en el modelado de sistemas, sus aplicaciones prácticas y su relación con el software Flexsim:

Distribución de probabilidad discreta

Estas describen la probabilidad de que ocurran valores específicos. Dentro de las principales y más utilizadas (Cruz, et al., 2018).

- ▶ Distribución uniforme discreta
- ▶ Binomial
- ▶ Poisson
- ▶ Geométrica
- ▶ Bernoulli

Distribución uniforme discreta. Esta distribución describe el comportamiento de una variable discreta que puede tomar n valores distintos con la misma probabilidad cada uno de ellos, esto ocurre cuando los valores son enteros consecutivos. Esta distribución asigna igual probabilidad a todos los valores enteros entre el límite inferior y superior que define el recorrido de la variable. Por ejemplo, cuando se observa el número obtenido mediante el lanzamiento de un dado, los valores posibles siguen una distribución uniforme discreta en $(1,2,3,4,5,6)$ y la probabilidad de cada cara es $1/6$.

Valores:

$x: a, a+1, a+2, \dots, b$ número entero

Parámetro:

a : mínimo, donde a es un número entero

b : máximo, donde b es un número entero $a < b$

Distribución binomial. La distribución binomial es una distribución discreta de mucha importancia que surge en muchas aplicaciones estadísticas. Esta distribución aparece al realizar repeticiones independientes de un experimento que tenga respuesta binaria, generalmente clasificado como éxito o fracaso. Por ejemplo, esa respuesta la podemos encontrar en los resultados de los exámenes parciales, aprobados o no aprobados. La variable discreta que cuenta el número de éxitos en n pruebas independientes de ese experimento, cada una con la misma probabilidad de éxito igual a p , sigue una distribución binomial de parámetros n y p .

Valores:
 $x: 0, 1, 2, \dots, n$

Parámetros:
 n : Número de pruebas en donde $n > 0$, entero
 p : probabilidad de éxito $0 < p < 1$

Distribución de poisson. Esta distribución surge cuando un evento o suceso ocurre aleatoriamente en el espacio o tiempo. La variable asociada es el número de ocurrencias del evento en un intervalo o espacio continuo, por lo tanto es una variable aleatoria discreta que toma valores mayores a 0. Por ejemplo, un número de pacientes que llegan a un consultorio en un tiempo estipulado, el número de llamadas que recibe un servicio de atención a urgencias durante una hora, estos ejemplos siguen una distribución de Poisson.

Valores:
 $x: 0, 1, 2, 3, \dots, n$

Parámetros:
Lambda (λ): media de la distribución, $\lambda > 0$

Distribución geométrica. Esta distribución permite calcular la probabilidad de los datos, a partir de un número k de repeticiones hasta obtener un éxito por primera vez. La distribución geométrica se utiliza en la distribución de tiempo de espera. Esta distribución presenta la denominada propiedad de Markov.



Valores:

x: 0,1,2,,,,,n

Parámetros:

p: probabilidad de éxito $0 < p < 1$

Distribución de Bernoulli. Es una distribución de probabilidad discreta que toma valor de 1 para la probabilidad de éxito y valor 0 para la probabilidad de fracaso. Consiste en realizar un experimento aleatorio una sola vez y observar si el suceso ocurre o no, siendo p la probabilidad de que esto sea exitoso y $q = 1 - p$ la probabilidad que no lo sea fracaso. Existen muchas ocasiones en las que se presenta una situación de esta naturaleza. Cada uno de los experimentos es independiente de los restantes, o sea que la probabilidad del resultado de un experimento no depende del resultado del resto.

Valores:

x: 0,1,2,.....n

Parámetros:

p: probabilidad

Valor de éxito: valor para representar el éxito del experimento

Valor de fracaso: Valor para representar el fracaso del experimento

Distribución de probabilidad continua

Son aquellas que describen una variable aleatoria que no sean valores específicos.

Distribución uniforme. Esta distribución es útil para describir una variable aleatoria con probabilidad constante sobre el intervalo [a,b] en el que se encuentra definida. Esta distribución presenta una singularidad importante: la probabilidad de un suceso dependerá exclusivamente de la amplitud del intervalo considerado y no de su posición en el campo de variación de la variable.

Campo de variación: $a \leq x \leq b$

Parámetros: a: mínimo del recorrido; b: máximo del recorrido



Distribución normal. Es la probabilidad más importante del cálculo de probabilidades y de la estadística en general. La importancia de esta distribución queda evidenciada por ser el límite de numerosas variables aleatorias, discretas y continuas.

Campo de variación: $-\infty < x < \infty$

Parámetros:

μ : (Mu), media de la distribución, $-\infty < x < \infty$

σ : (Sigma), desviación estándar de la distribución, $\sigma > 0$

Se expone un ejercicio con la finalidad de determinar la distribución de probabilidad a la cual se ajustan los datos.

Ejercicio 1

En la siguiente tabla se presentan los datos del número de piezas por hora que llegan a ciertas estaciones de trabajo en una planta manufacturera para ser procesadas:

Tabla 1. Datos tomados

52	45	49	52	54	49	53
48	48	45	52	52	52	49
53	52	51	47	54	49	51
51	55	45	53	50	49	54
51	49	55	51	48	52	53

Fuente. Elaboración propia

Partiendo de estos datos determinar en ExpertFit lo siguiente:

1. Determinar la distribución estadística a la cual se ajusta la variable
2. Muestre los parámetros que arroja el programa en el orden indicado en FlexSim
3. Muestre un gráfico representando la distribución estadística encontrada

CAPÍTULO 3.

DATOS DE ENTRADA A UN MODELO DE SIMULACIÓN

La simulación es un medio para diseñar, evaluar y contemplar, tanto los procesos nuevos como los existentes, sin correr el riesgo asociado a las experiencias realizadas en un sistema real. En otras palabras, permite a las organizaciones estudiar sus procesos desde una perspectiva sistemática, buscando una mejor comprensión de la causa y el efecto entre ellos, además de permitir una mejor predicción de determinadas situaciones. La teoría de la simulación permite evaluar, replantear y medir, por ejemplo, la satisfacción del cliente con un nuevo proceso, el uso de recursos en el nuevo proceso o incluso el tiempo para minimizarlo. Para que todo esto sea posible, hay que realizar una preparación de los datos, identificando los valores atípicos que generan ruido en la interpretación de los resultados finales (Vargas-Rojas, 2021).



PREPARACIÓN DE LOS DATOS

Las tareas o técnicas de preparación de datos en un proyecto de simulación se orientan a la adecuación del juego de datos para que pueda ser usado posteriormente, por algoritmos de clasificación, segmentación o regresión. Estas tareas las podemos agrupar en los siguientes bloques temáticos (Ruiz, 2019):

- ▶ Tareas de limpieza de datos, que permiten corregir o eliminar ruido o datos no válidos.
- ▶ Tareas de normalización de datos, que facilita la presentación de los datos en el mismo rango.
- ▶ Tareas de desratización, entendidas como procesos de conversión de variables continuas a categóricas.
- ▶ Tareas de reducción de la dimensionalidad, que nos ayudará a desarrollar modelos con juegos de datos reducidos.

LIMPIEZA DE DATOS

En el proceso de limpieza de datos (en inglés, data cleansing o data scrubbing) se llevan a cabo actividades de detección, eliminación o corrección de instancias corrompidas o inapropiadas en los juegos de datos.

A nivel de valores de atributos se gestionan los valores ausentes, los erróneos y los inconsistentes. Un ejemplo podrían ser los valores fuera de rango (outliers).

El proceso de integración de datos puede ser una de las principales fuentes de incoherencias en los datos. Fruto de la fusión de juegos de datos distintos, se pueden generar inconsistencias que deben ser detectadas y subsanadas (Morales, 2021).



GRÁFICO DE DISPERSIÓN

Es un gráfico en el cual se representan las parejas (X, Y) de las variables observadas. La forma que toma ilustra acerca de la posible asociación existente.

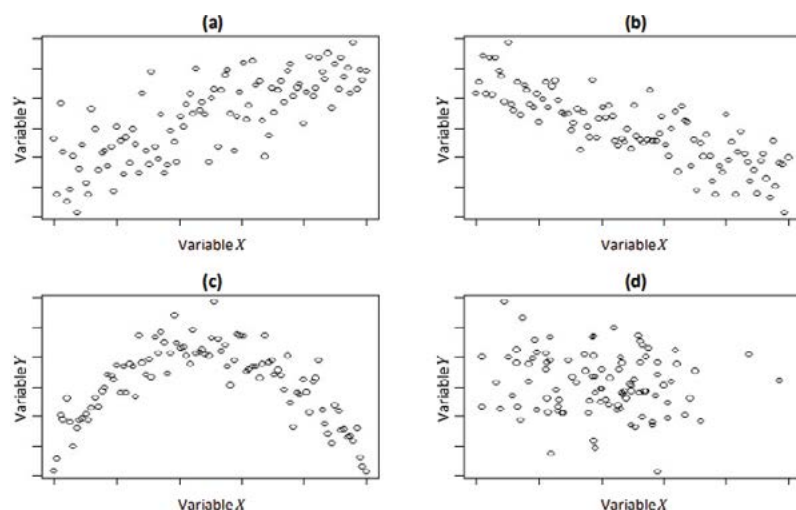


Figura 7. a) Relación lineal positiva (directa o creciente) b) Relación lineal negativa (indirecta o decreciente) c) Relación no lineal d) Falta de relación
Fuente. Elaboración propia

Cuando se realiza un modelo de simulación es importante realizar un análisis descriptivo e inferencial a los datos que serán útiles para la modelación; por ejemplo, si una empresa se dedica a la producción de botellas de agua, debe contener varias estaciones de trabajo. Si se quisiera simular el sistema de producción, es necesario saber con qué frecuencia llegan las materias primas, cuáles son los tiempos de alistamiento de las máquinas, cuál es el tiempo de proceso de las máquinas por botella. Es así como se deben recoger como mínimo 100 datos para poder procesarlos y generar una distribución de probabilidad que genere datos aleatorios en Flexsim de acuerdo a ese histórico de datos recolectados (Morales, 2021).

Para comprender estos conceptos, a continuación se presenta un histórico de datos

Tabla 2. Datos históricos

14	12	15	13	14	12	14	13	13	13
13	13	13	14	15	13	15	12	40	14
15	15	14	15	14	14	15	13	13	12
12	12	40	14	12	12	15	14	13	13
14	12	14	12	5	14	15	13	13	14
15	2	15	14	13	15	14	14	13	12
15	13	15	12	14	15	12	13	13	14
15	14	15	12	12	14	13	14	15	14
15	13	15	15	12	13	13	13	12	15
15	12	12	14	13	13	14	13	15	15

Fuente. Elaboración propia

Para realizar el diagrama de dispersión se procede de la siguiente forma:

Se seleccionan ambos conjuntos de datos sin considerar los títulos. En la pestaña Insertar se da clic en el botón Insertar gráfico de dispersión (X, Y) o de burbujas (ubicado en el centro de la parte superior de la pantalla) como se puede ver en la Figura 8.

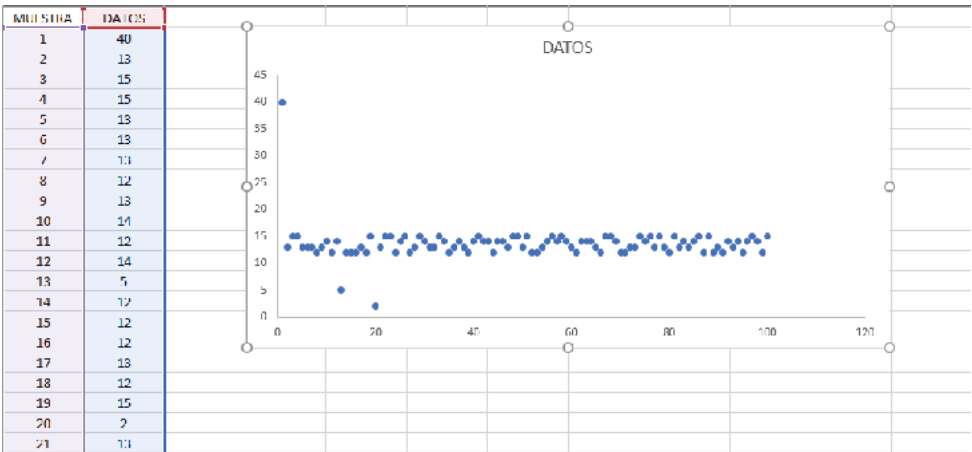


Figura 8. Gráfico de dispersión
Fuente. Elaboración propia

El gráfico de dispersión anterior muestra que la mayoría de los datos fueron tomados correctamente, pero se pueden ver tres datos atípicos.

¿Qué son datos atípicos?

Un valor atípico es una observación que numéricamente es muy distinta al resto de elementos de una muestra (ver Figura 9). Estos datos nos pueden causar problemas en la interpretación de lo que ocurre en un proceso o en una población. Por ejemplo, en el cálculo de la resistencia media a compresión simple de unas probetas de hormigón, la mayoría se encuentran entre 25 y 30 MPa. ¿Qué ocurriría si, de repente, medimos una probeta con una resistencia de 60 MPa? La mediana de los datos puede ser 27 MPa, pero la resistencia media podría llegar a 45 MPa. En este caso, la mediana refleja mejor el valor central de la muestra que la media (Orellana & Cedillo, 2020).

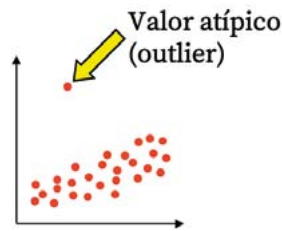


Figura 9. Datos atípicos
Fuente. Elaboración propia

¿Qué hacemos con esos valores atípicos?

La opción de ignorarlos a veces no es la mejor de las soluciones posibles si pretendemos conocer qué ha pasado con estos valores. Lo cierto es que distorsionan los resultados del análisis, por lo que hay que identificarlos y tratarlos de forma adecuada. A veces se excluyen si son resultado de un error, pero otras veces son datos potencialmente interesantes en la detección de anomalías.

Los valores atípicos pueden deberse a errores en la recolección de datos válidos que muestran un comportamiento diferente, pero reflejan la aleatoriedad de la variable en estudio. Es decir, valores que pueden haber aparecido como parte del proceso, aunque parezcan extraños. Si los valores atípicos son parte del proceso, deben conservarse. En cambio, si ocurren por algún tipo de error, lo adecuado es su eliminación (Orellana & Cedillo, 2020).

CAPÍTULO 4.

INTRODUCCIÓN AL SIMULADOR FLEXSIM

Este tema proporcionará una visión general de alto nivel de los elementos más importantes de la interfaz de usuario de FlexSim y explicará algunos de sus términos y conceptos clave.

Usted construirá principalmente su modelo de simulación utilizando dos interfaces: el modelo 3D y la herramienta de flujo de procesos. El modelo 3D es donde usted visualizará su sistema de negocios usando gráficos 3D. La herramienta de flujo de procesos es donde construirá la lógica que alimenta su modelo 3D.

Los elementos más importantes de la interfaz del modelo 3D están etiquetados en la siguiente imagen (Figura 10) (FlexSim, 2022):

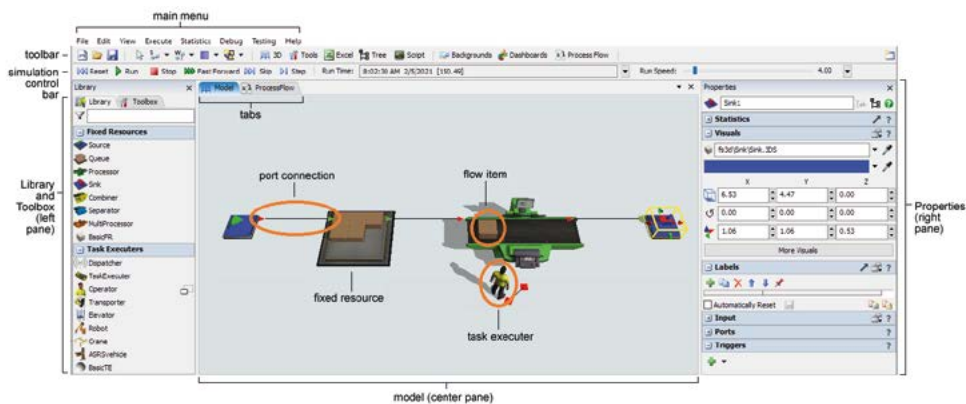


Figura 10. Interfaz del modelo 3D
Fuente. Elaboración propia

La interfaz de flujo de proceso se parece mucho a la interfaz del modelo 3D. Los elementos más importantes de la herramienta Process Flow están etiquetados en la Figura 11:

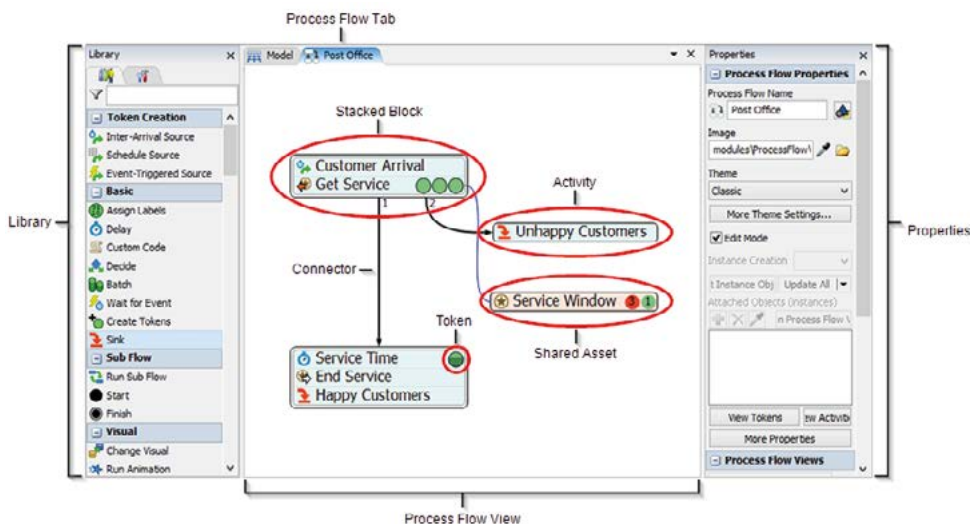


Figura 11. Herramienta de Process Flow
Fuente. Elaboración propia

Este tema se centrará en explicar los elementos de la interfaz del modelo 3D. Para obtener más información sobre la interfaz de flujo de procesos, consulte Descripción general de la interfaz de flujo de procesos.



MODELO 3D (PANEL CENTRAL)

Ubicado en el panel central, el modelo 3D es el espacio de trabajo principal que utilizará para crear un modelo de simulación 3D de su sistema comercial. Puede arrastrar objetos de la Biblioteca al modelo para comenzar a crear su simulación. Cuando ejecuta una simulación, los objetos en su modelo de simulación comenzarán a moverse e interactuar según la lógica que haya definido en su modelo de simulación (FlexSim 2022).

OBJETOS (RECURSOS FIJOS, EJECUTORES DE TAREAS, ELEMENTOS DE FLUJO)

Los objetos son los componentes básicos de un modelo de simulación 3D. Diferentes tipos de objetos tienen diferentes propósitos y funciones dentro del modelo de simulación. Algunos de los objetos más comunes (FlexSim 2022) son:

- ▶ Elementos de flujo: objetos que se mueven (o “fluyen”) a través del modelo de simulación, generalmente desde una estación (un recurso fijo) a otra estación aguas abajo. Los elementos de flujo pueden representar productos, clientes, papeleo, piezas o cualquier otro elemento que se mueva a varias estaciones en su sistema empresarial. De manera predeterminada, los elementos de flujo se ven como cajas, pero puede cambiar los elementos de flujo para que se vean como personas (clientes) u otras formas.
- ▶ Recursos fijos: objetos que permanecen estacionarios en el modelo 3D. Cada recurso fijo realiza una función específica. Por ejemplo, una fuente crea elementos de flujo a intervalos específicos y los introduce en el modelo. Una cola almacena elementos de flujo hasta que se necesitan aguas abajo. Un sumidero elimina los elementos de flujo del modelo, y así sucesivamente.

- Ejecutores de tareas: objetos que pueden moverse en el modelo 3D y realizar tareas como transportar elementos de flujo, operar máquinas, etc. El tipo más común de ejecutor de tareas es el operador, que puede representar a un empleado en el modelo de simulación.

Hay muchos tipos de objetos además de los principales mencionados aquí. Consulte Tipos de objetos 3D para obtener una explicación más completa.

BIBLIOTECA Y CAJA DE HERRAMIENTAS (PANEL IZQUIERDO)

Ubicada en el panel izquierdo, la Biblioteca contiene una variedad de objetos que puede usar para construir su modelo de simulación 3D. Cada tipo de objeto tiene configuraciones específicas (propiedades) que puede personalizar. (Consulte Descripción general de los objetos de biblioteca 3D para obtener más información sobre estos objetos y sus propiedades). A veces la biblioteca mostrará diferentes objetos según la herramienta que esté abierta y activa en el panel central en ese momento.

Por ejemplo, cuando la herramienta Flujo de procesos está abierta, la Biblioteca mostrará un conjunto de objetos (actividades) que son exclusivos de Flujo de procesos.

La Biblioteca también comparte el panel izquierdo con la Caja de herramientas, que es donde administrará las herramientas que desea usar en su modelo de simulación (como Flujo de procesos, Tableros, Tablas globales, etc.). Consulte Uso de la caja de herramientas para obtener más información



PROPIEDADES (PANEL DERECHO)

Ubicado en el panel derecho, Propiedades le permite editar las propiedades de cualquier objeto que esté actualmente seleccionado en el modelo o en una herramienta determinada. También puede usar el panel Propiedades para ver información importante (como estadísticas) sobre los objetos cuando se seleccionan durante una ejecución de simulación. Consulte uso del panel de propiedades para obtener más información.

- ▶ **Pestañas.** Cuando abre algunas de las herramientas en FlexSim, es posible que se dividan o compartan el panel central con el modelo de simulación. Cada una de estas herramientas tiene su propia pestaña en el panel central. Puede hacer clic en las pestañas para activarlas si es necesario. También puede controlar cómo FlexSim muestra estas herramientas o cómo dividen el panel central. Consulte Organización de ventanas y pestañas para obtener más información.
- ▶ **Puertos y Conexiones Portuarias.** Los objetos en el modelo de simulación deben estar conectados de alguna manera para poder interactuar durante un modelo de simulación. Una de las formas en que se pueden conectar objetos es a través de puertos. Hay dos tipos de puertos en FlexSim:
 - ▶ **Puertos de entrada/salida.** Estos puertos determinan cómo y cuándo pasa un elemento de flujo de un recurso fijo a otro. Cuando un puerto de salida en un recurso fijo se conecta al puerto de entrada de otro objeto aguas abajo, el elemento de flujo pasará del puerto de salida del primer objeto al puerto de entrada del siguiente objeto (a menos que ese puerto esté cerrado).
 - ▶ **Puertos centrales.** Cuando los puertos centrales de dos objetos están conectados, se crea un punto de referencia entre esos dos objetos. Los puertos centrales permiten que los objetos se comuniquen o interactúen. Los puertos centrales generalmente conectan un recurso fijo a un ejecutor de tareas.

- ▶ Menú principal, barra de herramientas, barra de control de simulación. Como en la mayoría de los programas de software, el menú principal contiene todas las herramientas y comandos que puede usar mientras construye su modelo de simulación. La barra de herramientas brinda acceso rápido a muchas de las herramientas y comandos de uso común en FlexSim. La barra de control de simulación (a veces también llamada barra de control para abreviar) contiene las herramientas y los comandos que necesitará para ejecutar su simulación. Consulte Ejecución de simulaciones para obtener más información sobre cómo usar la barra de control de simulación.

CREACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN

Puede crear un nuevo modelo de dos maneras diferentes en FlexSim:

- ▶ Cuando abre FlexSim por primera vez, ve la pantalla de inicio. Puede iniciar un nuevo modelo haciendo clic en **Nuevo modelo** en el menú de la izquierda.
- ▶ En la barra de herramientas, haga clic en el botón **Nuevo**  para iniciar un nuevo modelo.

El uso de cualquiera de los métodos abrirá el cuadro de diálogo **Unidades del modelo** donde puede especificar las unidades de medida para su modelo, como se muestra en la Figura 12:





Figura 12. Unidades del modelo
Fuente. FlexSim (2022)

INTRODUCCIÓN A LA CAJA DE HERRAMIENTAS

Toolbox es el lugar al que puede acceder para casi todas las herramientas de FlexSim. (Consulte Descripción general de las herramientas para obtener una breve descripción de todas las herramientas que están disponibles en la Caja de herramientas).

Toolbox proporciona un lugar único donde puede ver todas las herramientas y componentes de herramientas que está utilizando en su modelo de simulación. También puede usar la caja de herramientas para administrar los componentes de la herramienta, la ubicación de Toolbox se puede ver en la figura 13.

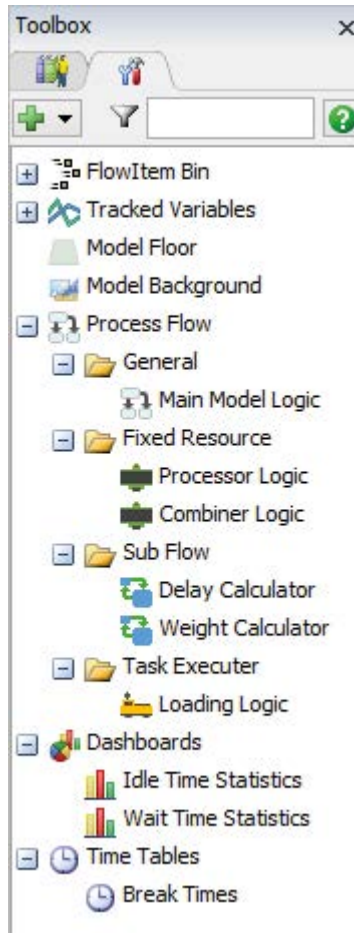


Figura 13. Caja de herramientas
Fuente. FlexSim (2022)

Descripción general de las herramientas

La siguiente tabla describe algunas de las principales herramientas que están disponibles en la Caja de herramientas, enumeradas en el orden en que aparecen en el menú Herramientas:

Tabla 3. Descripción de las herramientas

Herramienta	Descripción
Global Table	Hojas de cálculo internas donde puede importar y almacenar información que puede ser referenciada dinámicamente por otras herramientas en FlexSim. Consulte Tablas globales para obtener más información.
Time Table	Programa cambios de estado (como tiempos de inactividad programados) para objetos 3D específicos en el modelo. Consulte Horarios para obtener más información.
MTBF MTTR	Establece tiempos de descomposición y recuperación aleatorios para grupos de objetos 3D en el modelo. Consulte MTBF MTTR para obtener más información.
Dashboard	Muestra datos de una ejecución de simulación en tiempo real. Consulte Conceptos clave sobre paneles y gráficos para obtener más información.
Process Flow	Construye la lógica general de su modelo. Consulte Descripción general de la interfaz de flujo de procesos para obtener más información.
Global List	Se utiliza cuando necesita crear flujos más complejos entre objetos 3D. Las listas también se pueden usar para el enrutamiento sin conexión, el filtrado de elementos de flujo, la gestión de tareas y la priorización de recursos fijos. Consulte Conceptos clave sobre las listas para obtener más información.
Statistics Collector	Se utiliza para obtener estadísticas estándar o personalizadas de un modelo de simulación. Consulte Uso del recopilador de estadísticas para obtener más información.
Flow Item Bin	Personaliza la apariencia visual de los elementos de flujo en su modelo de simulación. Consulte Uso de la bandeja de elementos de flujo para obtener más información.

Fuente. Elaboración propia



ADICIÓN DE UN NUEVO COMPONENTE DE HERRAMIENTA

Utilizará un método ligeramente diferente para agregar un nuevo componente de herramienta, dependiendo de si ha agregado ese tipo particular de componente de herramienta a su modelo de simulación anteriormente.

Para agregar el primer componente de herramienta nuevo:

Con la Caja de herramientas abierta, haga clic en el botón **Agregar+** en la parte superior de la Caja de herramientas. Esto abrirá un menú de herramientas disponibles.

Seleccione el nombre de la herramienta para la que desea agregar un nuevo componente de herramienta. Por ejemplo, si desea agregar un nuevo flujo de proceso, seleccione **Flujo** de proceso en el menú. Si quisiera agregar un nuevo tablero, seleccionaría **Tablero** en el menú, y así sucesivamente.

Esto creará un nuevo componente. El componente recién creado se abrirá automáticamente en la herramienta correspondiente. Consulte Organización de ventanas y pestañas para obtener una explicación de cómo puede cambiar las opciones de visualización para esta ventana de herramientas.

Para agregar componentes de herramientas adicionales en la Caja de herramientas

Si es necesario, haga clic en el signo **Más+** junto al nombre de la herramienta aplicable para expandir y mostrar la lista de componentes de la herramienta que se han creado hasta el momento.

Haga clic derecho en el nombre de la herramienta. Seleccione **Agregar [Componente de herramienta]** en el menú. Por ejemplo, si desea agregar un nuevo seguimiento de paciente, haga clic con el botón derecho en **Tablero** y seleccione **Agregar tablero** en el menú. El componente recién creado se abrirá inmediatamente en la herramienta correspondiente.



INTRODUCCIÓN AL PANEL DE PROPIEDADES

El panel Propiedades le permite editar las propiedades de cualquier objeto que esté actualmente seleccionado en el modelo o en una herramienta determinada. También puede usar el panel Propiedades para ver información importante (Figura 14) (como estadísticas) sobre los objetos cuando se seleccionan durante una ejecución de simulación.

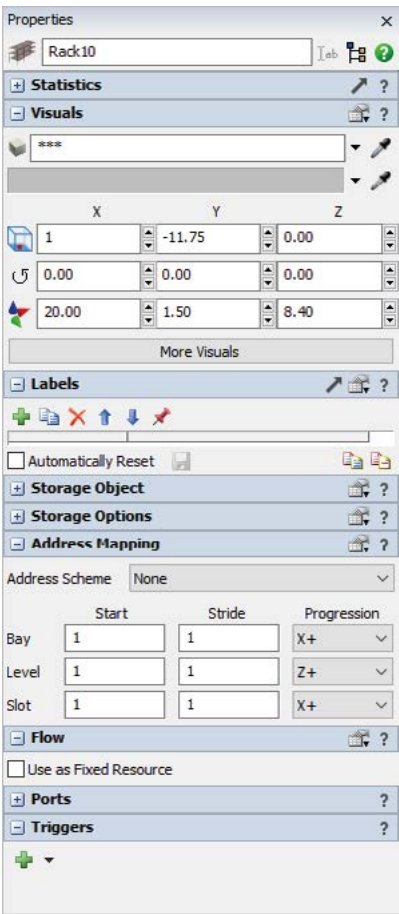


Figura 14. Panel de propiedades
Fuente. FlexSim (2022)

CÓMO LLEGAR A LAS PROPIEDADES

Por lo general, el panel Propiedades está acoplado en el lado derecho de la interfaz de usuario estándar de FlexSim. Para editar las propiedades de un objeto, simplemente haga clic en él y verá sus propiedades en el panel de la derecha (Figura 15).

Alternativamente, puede hacer doble clic en un objeto para ver sus propiedades. Esto abrirá un panel de propiedades al lado del cursor, donde puede editar las propiedades del objeto.

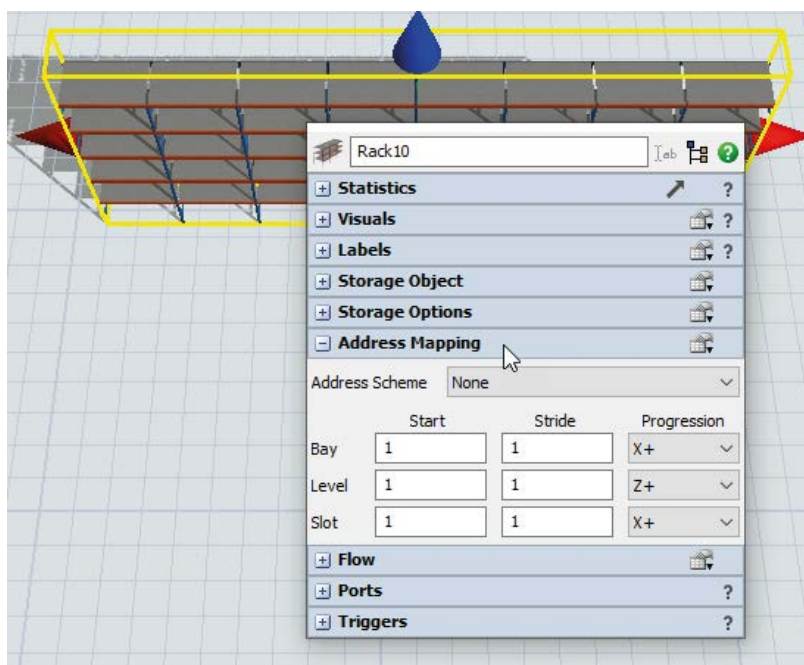


Figura 15. Panel de propiedades
Fuente. FlexSim (2022)

EDICIÓN DE UNA PROPIEDAD

Una propiedad típica en FlexSim generalmente tendrá componentes similares. La siguiente Figura etiqueta estos componentes para dos propiedades diferentes en un procesador:

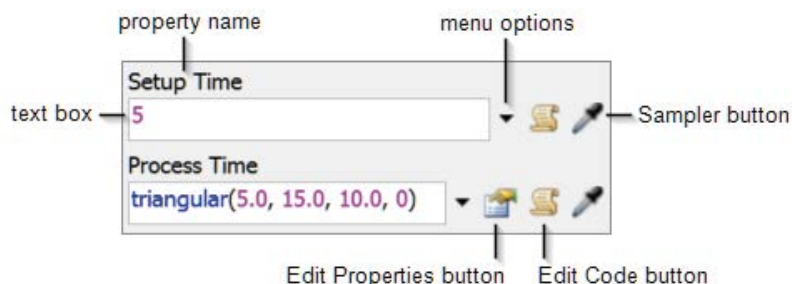


Figura 16. Edición de propiedades
Fuente. FlexSim (2022)

NOMBRE DE LA PROPIEDAD

El nombre de la propiedad le dice el propósito de la propiedad. Por ejemplo, en la imagen anterior, estas dos propiedades se denominan Tiempo de configuración y Tiempo de proceso. Estos nombres describen su función. El tiempo de configuración afectará cuánto tiempo necesita el objeto 3D (si lo necesita) antes de que pueda procesar otro elemento de flujo. El tiempo de proceso controla cuánto tiempo el objeto 3D procesará un elemento.

CAJA DE TEXTO

El cuadro de texto muestra la configuración o el valor actual de la propiedad. Si sabe qué valores son válidos para esta propiedad, puede escribirlos directamente en el cuadro de texto.

Las diferentes propiedades tendrán una variedad de configuraciones o valores posibles. Algunas propiedades le permitirán utilizar un número fijo. Algunos pueden permitirle usar una distribución estadística para calcular aleatoriamente un número. Algunos pueden permitirle hacer referencia a otro objeto 3D en el modelo o una actividad/activo compartido en un flujo de proceso. Algunos pueden permitirle hacer referencia a un valor en una etiqueta o una tabla global.

Observe que, en la imagen anterior, los cuadros de texto para el tiempo de configuración y el tiempo de proceso muestran valores muy diferentes. El tiempo de configuración se establece en 5, lo que significa que se necesitarán 5 segundos de simulación para configurar el objeto 3D antes de que procese un elemento de flujo. Por el contrario, el tiempo de proceso se establece en. Esto significa que el tiempo de proceso utiliza la distribución estadística triangular para asignar aleatoriamente un tiempo de proceso entre 5 y 15 segundos de simulación.

Opciones de menú

Al lado de cada propiedad, por lo general encontrará una flecha negra . Al hacer clic en esta flecha, se abre un menú de las opciones disponibles para esta propiedad. Estas opciones de menú brindan una de las mejores herramientas para conocer la configuración disponible de esa propiedad. Cuando selecciona una opción, el cuadro de texto:

- ▶ Completar automáticamente con la sintaxis correcta según su selección, O
- ▶ Se abrirá otro cuadro de diálogo para guiarlo a través de la selección de más opciones.

De esta forma, las opciones del menú pueden enseñarle qué opciones están disponibles para una propiedad, brindarle cuadros de diálogo adicionales para guiarlo a través



del proceso y puede ayudarlo a aprender la sintaxis correcta para una propiedad si desea escribirla a mano más tarde.

Por ejemplo, si quisiera utilizar una distribución estadística aleatoria para el tiempo de proceso (como se muestra en la imagen anterior), seleccionaría *Distribución estadística* en el menú y luego seleccionaría el tipo de distribución que desea. Según su selección, aparecerá un cuadro de diálogo de selección de distribución para guiarlo a través de la selección de las restricciones para su distribución:

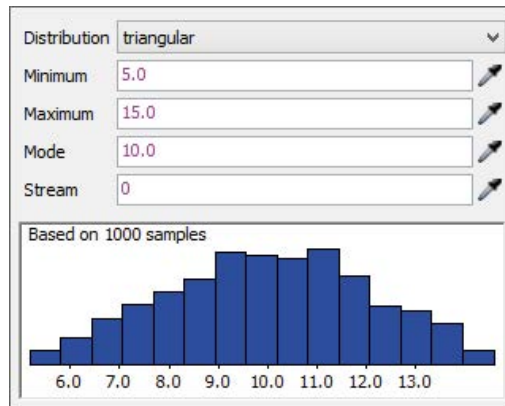


Figura 17. Distribución estadística
Fuente. FlexSim (2022)

Botón de muestra

Muchas propiedades tienen un botón Muestra  junto a ellas. El muestreador es una herramienta de acceso directo conveniente que le permite muestrear una variedad de objetos 3D, actividades de flujo de procesos/activos compartidos, tablas globales, etc.

Por ejemplo, si estuviera editando la propiedad *Usar transporte* en un procesador, podría usar el muestreador para seleccionar qué operador debe transportar elementos de flujo desde el procesador.

Botón Editar propiedades

El botón Editar propiedades solo aparece si ha utilizado el menú para realizar una selección que tenía un cuadro de diálogo. El botón Editar propiedades volverá a abrir el cuadro de diálogo para que pueda realizar cambios.

Por ejemplo, si usó el menú para seleccionar una distribución estadística, usó el cuadro de diálogo del selector de distribución para establecer las restricciones inicia-

les para la distribución. Si desea realizar cambios en las restricciones, puede hacer clic en el botón Editar propiedades para abrir el selector de distribución y realizar los cambios necesarios.

Botón Editar código

Si se siente cómodo con FlexScript, puede hacer clic en el botón Editar código  para abrir un editor de código y escribir código personalizado para esta propiedad. El botón Editar código también es útil si está tratando de aprender FlexScript y le gustaría ver la lógica de codificación que se usa para una propiedad en particular.

Por ejemplo, si hiciera clic en el botón Editar código y viera el FlexScript para la propiedad de tiempo de proceso utilizada en el ejemplo anterior, el código para la distribución estadística triangular se vería así:

```
Object current = ownerobject(c);
Object item = param(1);
/**popup:StatisticalDistribution*/
return
/**tag:distribution*//**/triangular/**/(**/
/**tag:par1*//**/5.0/**/
/**tag:par2*//**/, 15.0/**/
/**tag:par3*//**/, 10.0/**/
/**tag:par4*//**/, 0/**/
/**tag:par5*//**/(**/
/**/)**/
;
```

Figura 18. Editar código
Fuente. FlexSim (2022)



CAPÍTULO 5.

CASO DE APLICACIÓN CON FLEXSIM

En el presente capítulo se presenta un caso de estudio de simulación para una empresa que se dedica a la fabricación de productos metálicos ornamentales, este caso será de utilidad para poner en práctica los conceptos teóricos de simulación y el manejo del software.

FÁBRICA DE PRODUCTOS METÁLICOS ORNAMENTALES

A continuación se hace una descripción general del funcionamiento de cada una de las áreas de la empresa que va desde fundición hasta el almacén de expedición. Para este caso solamente se considera para la simulación el área de Desbarbado.

- **Fundición.** Esta sección se encarga de fundir la materia prima almacenada en el “Almacén de Materia Prima”. Consta de tres hornos, cada uno de ellos equipado con un contenedor y controlado por un operario que, una vez procesada la materia prima, la llevará a la estación de enfriamiento.



Tras el enfriamiento, otro operario se encarga de desmoldar y colocar los productos en una cinta transportadora que los lleva a la sección de desbarbado.

- ▶ **Desbarbado.** El desbarbado es una técnica utilizada para alisar o aplanar objetos metálicos, este proceso es similar al lijado. Aquí los productos que llegan de la fundición se almacenan en un contenedor y, con la ayuda de dos operarios, se llevan a tres estaciones de trabajo. Cada estación de trabajo estará controlada por un operario. Una vez procesados los productos, se colocarán en un transportador de rodillos que los llevará a una zona donde un operario se encargará de almacenar los productos según su tipo, en 8 contenedores diferentes.
- ▶ **Almacén Intermedio.** Se ha pensado que la mejor opción para el almacenamiento serían estanterías, en las que en cada compartimento almacene un tipo de producto, por lo que serán necesarios 8 compartimentos.
- ▶ **Recubrimiento.** Con la ayuda de un montacargas se irán llevando los lotes de productos al almacén transitorio del puesto de baño 1 y 2, cada puesto de baño tiene un operador. Seguidamente los productos irán a través de una banda de rodillos a un taller de preparación y postratamiento donde 2 operarios ejecutan la operación.
- ▶ **Ensamblado.** El ensamblado es la siguiente fase de producción. Los productos procedentes de la sección anterior llegan a través de una banda de rodillos. En esta sección hay una fase de pulido llevada a cabo por un operario, y otra fase desmontaje en la que participan 4 operarios. Una vez finalizado el producto se lleva al almacén de expedición.
- ▶ **Almacén de expedición.** Como se ha comentado en el apartado anterior, en esta sección se almacenarán los productos terminados. Además, se almacenarán los suministros que se necesitan para el ensamblado y para el montaje, de estos suministros se encargaran dos operarios.



DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DE LA SECCIÓN DE DESBARBADO

Para el presente estudio se simula el área de desbarbado, en la Figura 19 se muestra el mapa conceptual del área de desbarbado.

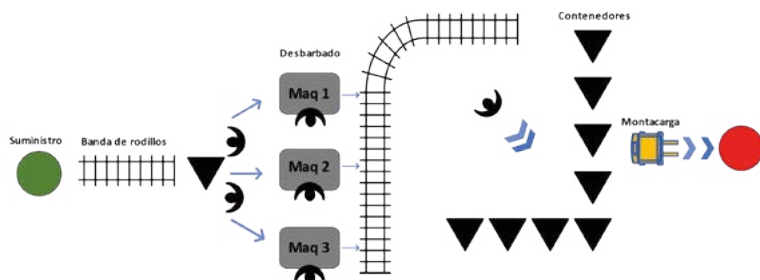


Figura 19. Mapa conceptual área de desbarbado
Fuente. FlexSim (2022)

- **Suministro.** Los productos llegan aleatoriamente de 8 tipos diferentes en la misma proporción, el comportamiento del tiempo entre llegadas se ajusta a una distribución normal con media y desviación estándar de 5.625 y 1.25 segundos respectivamente.
- **Banda de rodillos.** Las piezas generadas por el suministro se recogen en un contenedor, que las forma lotes de 8 piezas.
- **Desbarbado.** En este caso se ha optado por hacer un reparto coherente con los tiempos de fabricación de cada uno de los productos. Para ello, se ha tenido en cuenta que los productos de los tipos 2, 4, 5 y 6 son los que requieren mayor tiempo de fabricación. De este modo, la primera de las máquinas se encarga de los productos de los tipos 1, 3 y 7; la segunda se encarga de los tipos 2, 4 y 8 y, finalmente, la tercera del 5 y 6.
La siguiente operación del proceso consiste en transportar las piezas a cada una de las tres máquinas de la sección de desbarbado. debe utilizar dos operarios (Op Alimentación 1 y 2). El tiempo de carga de los productos se indica como 3 segundos

y el tiempo de descarga en la máquina como 2 segundos.

Por otro lado, los puestos de trabajo tienen la siguiente configuración:

- ▶ Distribuciones normales centradas en 75 segundos (productos 1, 3, 7 y 8).
- ▶ Distribuciones normales centradas en 85 segundos (productos 2, 4, 5 y 6).
- ▶ En ambos casos con desviaciones de 7 segundos para todas las máquinas.

- ▶ **Cinta transportadora.** Una vez procesadas las piezas en las máquinas de desbarbado, 3 operadores las llevan hasta una cinta transportadora, se ha tenido en cuenta que se tarda 1,5 segundos en recoger la pieza de la estación de trabajo, y 2 segundos en dejarla en la cinta.
- ▶ **Contenedores.** Al final de la cinta transportadora, un operario descarga las piezas agrupando en lotes los productos según su referencia. El operario tarda 2 segundos en recoger el producto del transportador de rodillos y 3 segundos en colocarlo en el contenedor correspondiente. La capacidad de estos lotes varía de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 4. Capacidad de lotes

Nº. Contenedor	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipo de Producto	1	2	3	4	5	6	7	8
Capacidad	20	18	22	10	12	16	20	22

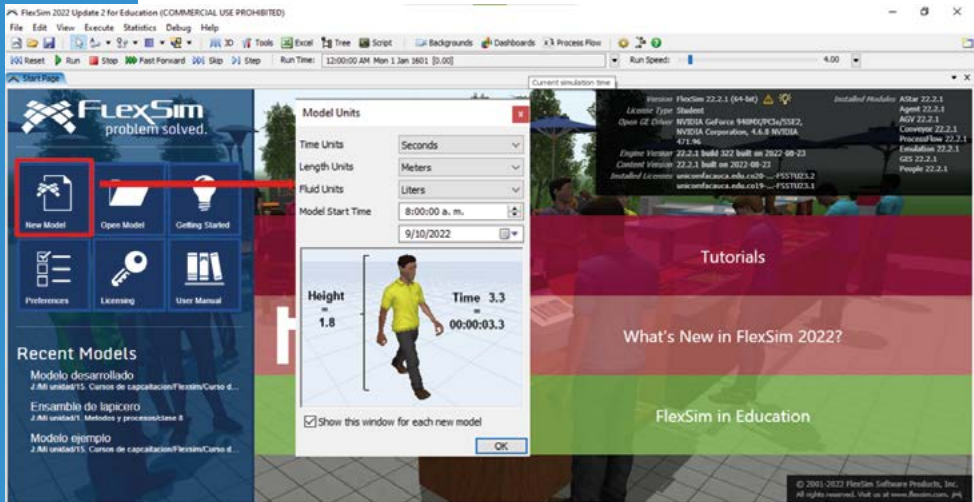
Fuente. Elaboración propia

Por último, cuando los lotes están completos, un montacargas se encarga de llevarlos al sumidero de salida ("Revestimientos"). El montacargas tarda 5 segundos en cargar y 4 segundos en descargar.



CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

La pantalla inicial a la que accedemos al arrancar el programa se muestra en la Figura 20. Se selecciona nuevo modelo y aparece una ventana donde se da la opción de las unidades con las que se puede trabajar, para este caso se seleccionan segundos para las unidades de tiempo, metros en unidades de distancia, litros en unidades fluido y por último el inicio del modelo debe ser a las 8:00 am.



Fuente. FlexSim (2022)

A continuación, se describe paso a paso la construcción del modelo:

Configuración de la fuente de suministro de materias primas

En primer lugar, hay que arrastrar un objeto de tipo Fuente desde la Biblioteca de Objetos (Library) a la ventana de visualización del modelo (Figura 21). Del objeto Fuente saldrán los artículos o productos (llamados flow-items) que recorrerán el modelo durante la simulación. En este caso, la Fuente será la que generará las referencias de productos con una distribución normal con una media de 5,625 y una desviación estándar (Std Dev) de 1,5 segundos.

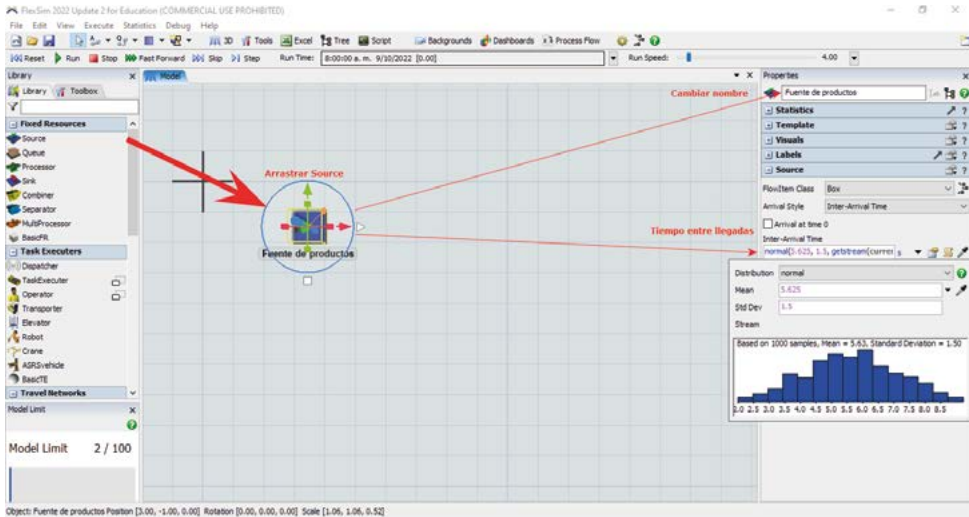


Figura 21. Configuración del Source
Fuente. FlexSim (2022)

Como son 8 tipos de productos se le debe hacer una configuración adicional (Figura 22). En la pestaña Triggers se da clic sobre la cruz verde  esta despliega una lista de opciones de las cuales se selecciona *on creation*,  *Data*  *Set label by percentage* y despliega un panel donde se ban a agregar los 8 tipos de productos cada uno (*Value*) va tener un porcentaje (*Percent*) de salida del 12.5% para que se cumpla con el parámetro de que los productos salgan en la misma proporción.

Además se le asigna a cada tipo de producto un color para poder diferenciar los productos a lo largo del proceso, para esto en la misma opción de Triggers se da clic sobre la cruz verde y se selecciona *On exit*   *Visual*  *Set color by case* y nuevamente con la opción de  se agregan los 8 colores deseados para cada tipo de producto esta configuración se muestra en la Figura 23.



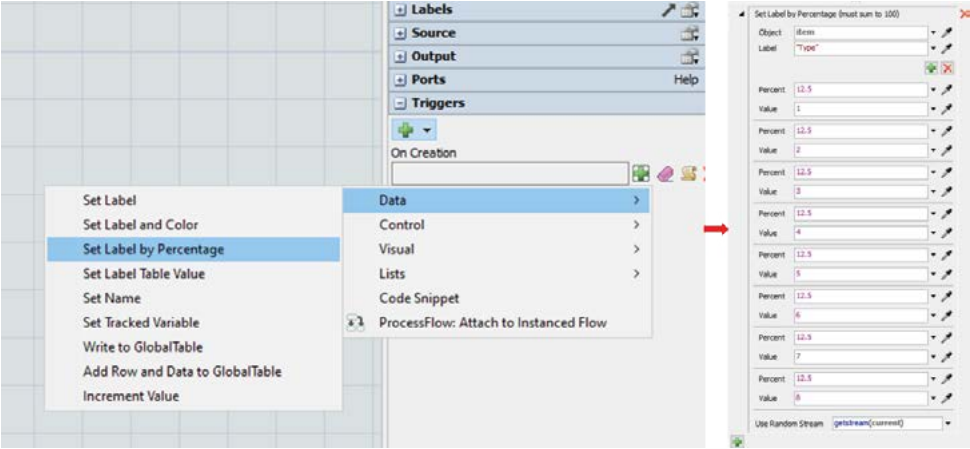


Figura 22. Configuración para crear los productos por porcentaje
Fuente. FlexSim (2022)

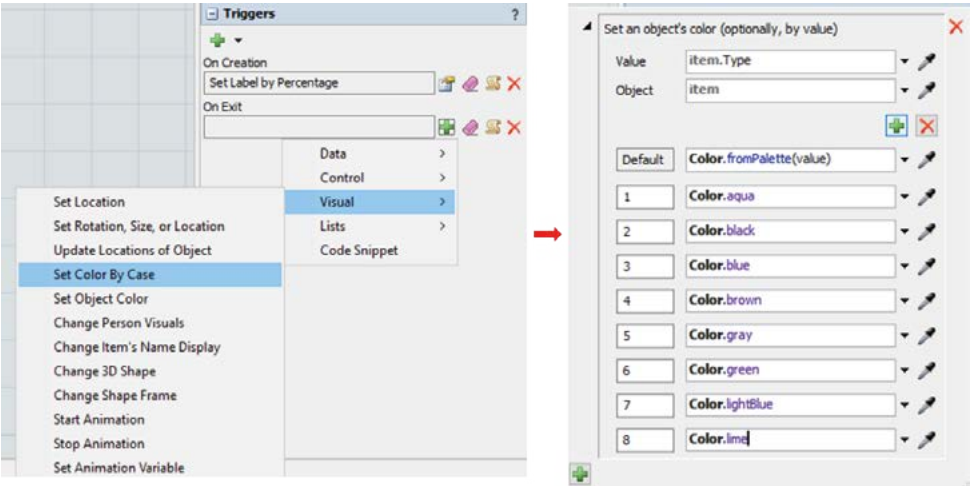


Figura 23. Configuración para crear los productos con color
Fuente. FlexSim (2022)

Siguiendo con la construcción del modelo se arrastran dos *Queue* y un *conveyor* al lienzo 3D al primer *Queue* se le coloca como nombre *Lotes*, el segundo será la zona de espera 1 y el *conveyor* será la banda transportadora.

En *Queue 1* será útil para organizar que los productos de tal manera que se vayan en lotes de 8 por lo que es necesario activar la casilla de *Perform Batching* esta despliega otra opción denominada *Target Batch Zize*, donde se coloca el número 8 (Figura 24).

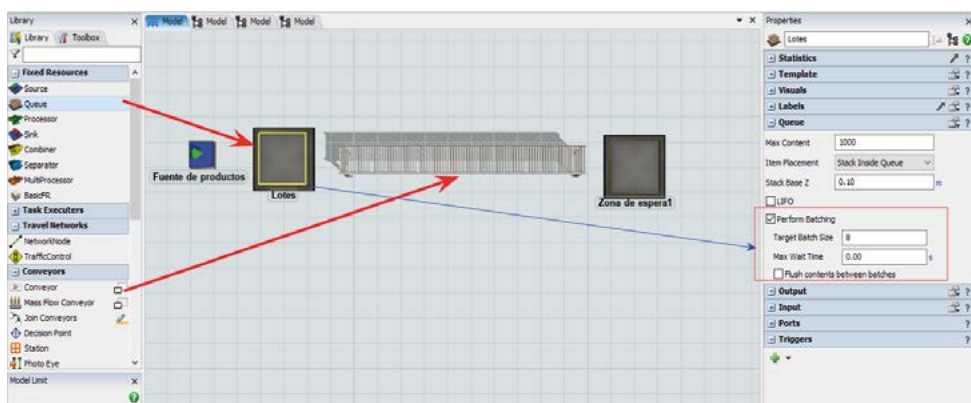


Figura 25. Configuración de las máquinas de desbarbado
Fuente. FlexSim (2022)

Configuración de las máquinas de desbarbado

Ahora se arrastran tres *Processor* que serán los que van a representar las máquinas de desbarbado, la configuración de las máquinas son las mismas, por lo que se puede configurar la Máquina 1 y replicarse para las otras dos máquinas. En las máquinas de desbarbado se aplica la siguiente configuración:

Se selecciona la máquina 1 y se despliega un módulo en la parte derecha, en este módulo están todas las propiedades de las máquinas para configurar, que en este caso de abre la pestaña de *Processor* y en el campo de *Process Time* da clic sobre el triángulo inverso (), este despliega un menú de opciones de las cuales se selecciona *Values By Case* luego con el icono de + se agregar 8 Case (Cada case representa el *Value* o *type* del producto); enseguida de cada Case aparece una opción para configurar el *Time*, es acá donde se configura los tiempos que tarda las maquinas en procesar cada tipo de producto por lo que se agrega la siguiente configuración (Figura 25):

- ▶ Distribuciones normales centradas en 75 segundos (productos 1, 3, 7 y 8)
- ▶ Distribuciones normales centradas en 85 segundos (productos 2, 4, 5 y 6),
- ▶ En ambos casos con desviaciones de 7 segundos para todas las máquinas.

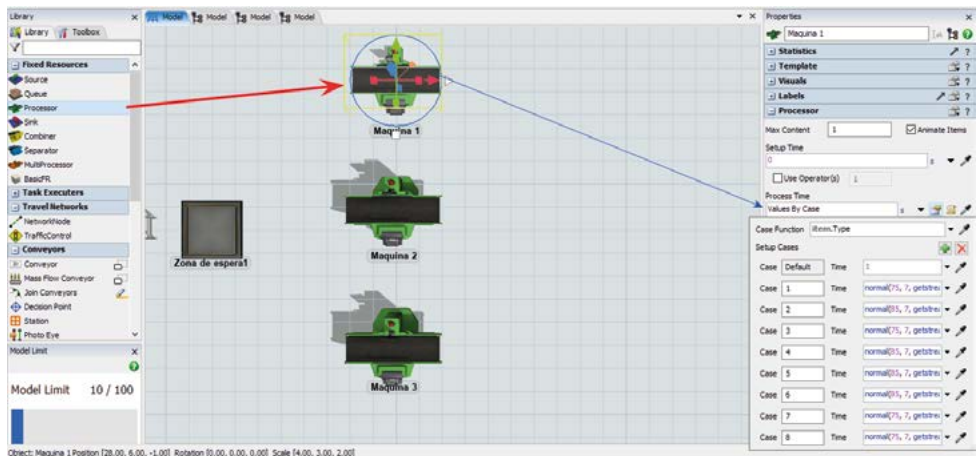


Figura 24. Zonas de espera y banda transportadora
Fuente. FlexSim (2022)

Teniendo la configuración de las máquinas de desbarbado ya se puede configurar el segundo *Queue* que es la Zona de espera 1. Pero antes de hacer la configuración se debe hacer las conexiones desde la Zona de espera 1 hasta cada uno de las máquinas de desbarbado (Figura 26, A). Recordemos que la máquina deben seguir la siguiente lógica que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5. Procesamiento de productos

Máquinas	Tipo de producto a procesar
Máquina 1	1, 3 y 7
Máquina 2	2, 4 y 8
Máquina 3	5, 6

Fuente. Elaboración propia

Para seguir esta configuración se deben configurar la salida de los puertos de la Zona de espera 1, siguiendo la siguiente ruta: *Output ? Send To Port ? Port By Case*; estando allí se configura los puertos de acuerdo a la Figura 26, B.



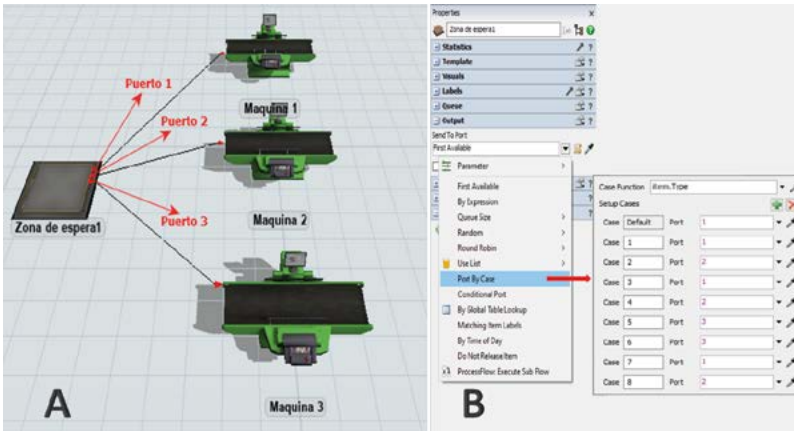


Figura 26. Conexiones de los puertos de salida de la Zona de espera 1
Fuente. FlexSim (2022)

Configuración de la banda transportadora

Siguiendo con la construcción del modelo se diseña la banda transportadora que llevará los productos hasta la siguiente sección. Para ello se utiliza dos Conveyer unidos mediante la herramienta Join Conveyors que es muy útil para unir curvas en las bandas transportadoras, para esto es necesario que las dos secciones de las bandas transportadoras estén ubicadas perpendicularmente en los extremos, luego con la herramienta de Join Conveyor se selecciona las dos secciones a unir, y automáticamente se arma una curva perfecta. La unión de los conveyors se puede ver en la Figura 27.

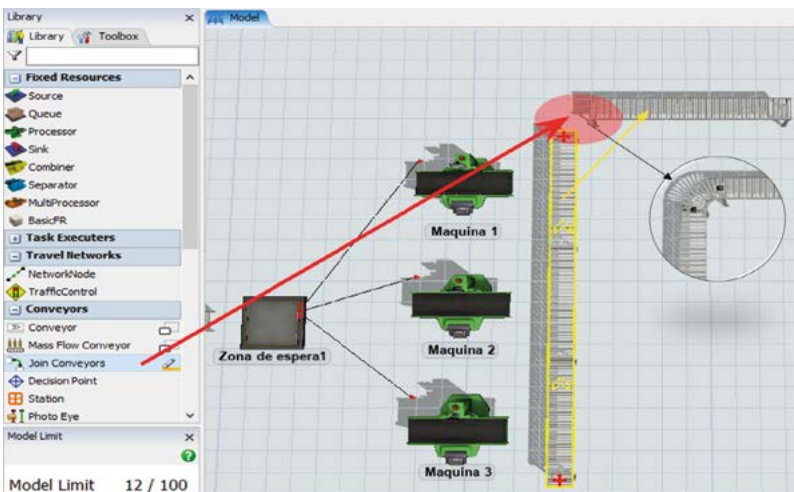


Figura 27. Conexión de los conveyors
Fuente. FlexSim (2022)

Configuración de los contenedores

Ahora se deben crear los 8 contenedores, que son los encargados de organizar los productos en lotes, el número de lotes por contenedor se pueden ver en la Tabla 1. Para que esta condición se cumpla se debe hacer la siguiente configuración para cada contenedor. En la pestaña Queue se debe activar la casilla Perform Batching, esta opción habilita una opción denominada Target Batch Size en donde se debe colocar el tamaño del lote. En la Figura 28 se puede ver la configuración del contenedor 1, esto se debe replicar en los demás contenedores ajustando los tamaños de lotes.

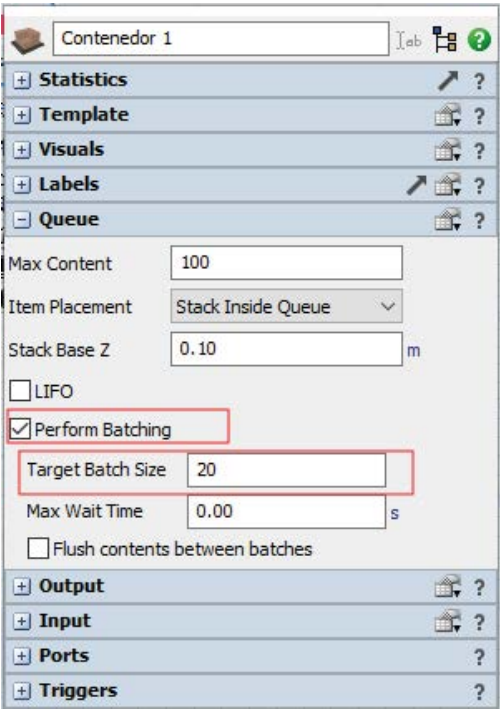


Figura 28. Configuración del contenedor para lotear los productos
Fuente. FlexSim (2022)

Los contenedores se representan con **Queue** porque es el objeto del Flexsim que más se ajusta para modelar el comportamiento de almacenamiento temporal. Seguidamente se hacen las conexiones desde el terminal de la banda transportadora hasta cada uno de los **Queues**.

Para que los productos se vayan al contenedor asignado primero se deben hacer las conexiones desde la banda transportadora hasta cada uno de los contenedores,

luego en la banda transportadora se da doble clic sobre una pestaña que se crea al final de la banda, se selecciona *Output ? Send To Port ? Port by case*, allí se crean (+) los 8 casos (Figura 29).

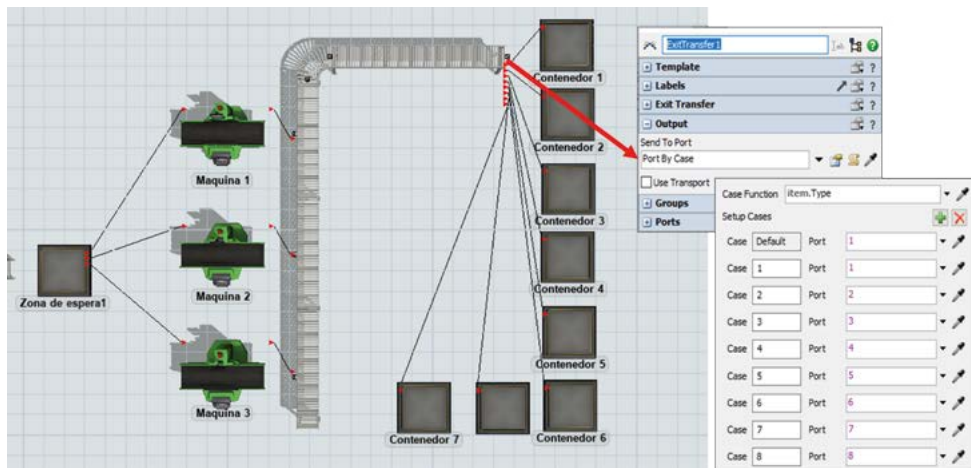


Figura 29. Configuración de los contenedores
Fuente. FlexSim (2022)

Configuración de la ruta con NetworkNode

Una vez configurados los contenedores se envían los productos agrupados por lotes al almacén intermedio a través de un montacargas, se debe tener en cuenta que el montacargas por defecto toma la ruta más corta, esto implica que se pueden pasar por encima de los demás objetos, por lo tanto, se debe diseñar una ruta por donde pueda movilizarse sin generar colapso.

Para trazar la ruta por donde se va a movilizar el montacargas se utiliza los Networknode según siguiente el siguiente procedimiento

- Se arrastran los nodos desde la librería hasta el lienzo 3D.
- Con A sostenido se hace las conexiones entre los nodos
- Con A sostenido se hace las conexiones los contenedores hasta su nodo asignado
- Con A sostenido se hace la conexión desde el nodo final hasta el sink (almacén intermedio)
- Desde un nodo de la red hasta el montacargas
- Se debe conectar con S sostenido desde los contenedores hasta el montacargas



- g. En cada contenedor se debe habilitar la opción de Use Transport.

La Figura 30 recrean el paso a paso de la configuración de la ruta.

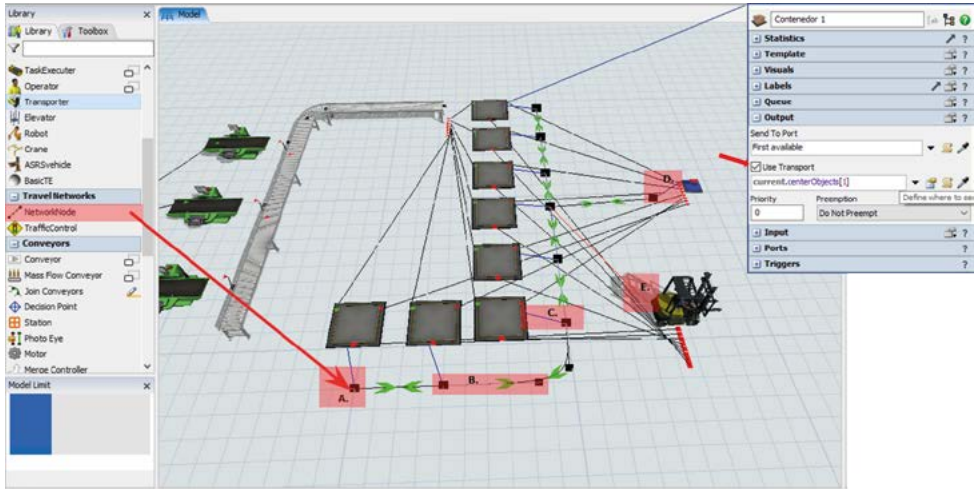


Figura 30. Configuración de ruta de montacargas
Fuente. FlexSim (2022)

Configuración de los operadores

Ahora tenemos que añadir los operarios al modelo 3D, recordemos que se necesitan 2 operarios para alimentar las 3 máquinas de desbarbado, 3 operarios para operar cada máquina y a la vez llevar el producto procesado a la cinta transportadora, y 1 operario que se encargue de llevar los productos de la cinta a los contenedores.

Los operarios 1 y 2 se encargarán de alimentar las máquinas, estos deben estar conectados a un Dispatcher, este se utiliza cuando varios operarios van a realizar una tarea en conjunto para un objeto, que en este caso será útil para controlar a los operarios que se encargan de alimentar las desbarbadoras, es así que el Dispatcher debe estar conectado con S al distribuidor de contenedores, los 2 operarios deben estar conectados con A al Dispatcher y se debe activar el contenedor con la opción Use Transport en la pestaña Output.

Para los operadores que manejan las máquinas (Operario 1, Operario 2, Operario 3) deben estar conectados con S a las máquinas, también deben tener activada la opción Use Transport en la pestaña Output y la opción Use Opera-

tor(s) debe estar también activada en la pestaña Processor.

Por último, el operario 6 que realiza la distribución debe estar conectado con S al último tramo de la banda transportadora, y la opción Use Transporter debe estar activada en la pestaña Output. La configuración general de los operadores puede verse en la siguiente Figura.

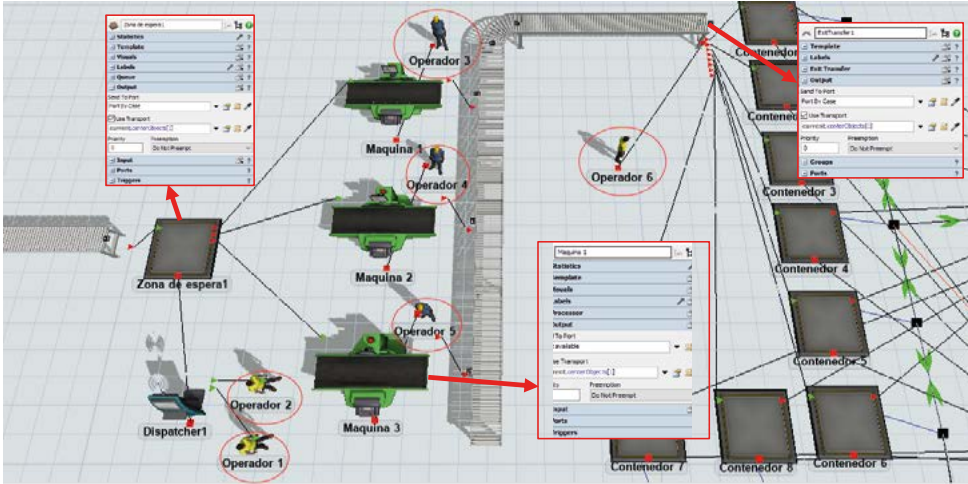


Figura 31. Conexiones y ajustes de los operarios
Fuente. FlexSim (2022)

Configuración de los horarios de turno y paradas programadas

Ahora hay que establecer los horarios de los turnos, que, según el caso, comienza a las 8:00 am hasta las 6:00 pm con 2 paradas de descanso de 15 minutos a las 10:00 am y 3:00 pm, adicionalmente 30 minutos para el almuerzo sobre las 12:00 m.

Para programar esta lógica se debe hacer uso de las Time Table que se encuentra en la caja de herramientas ToolBox, al seleccionar nos despliega una nueva ventana con 3 pestañas: en la pestaña Members se deben seleccionar los objetos requeridos para hacer las paradas programadas, en este caso se selecciona la fuente, las máquinas y los operarios. En la segunda pestaña Functions se dan las especificaciones de Stop Objetc y en la tercera pestaña Table, es donde se configuran las paradas de 15 minutos para receso y 30 minutos para el almuerzo, en la pestaña Down State se selecciona la forma como se quiere que se guarde la estadística en el momento de las paradas.



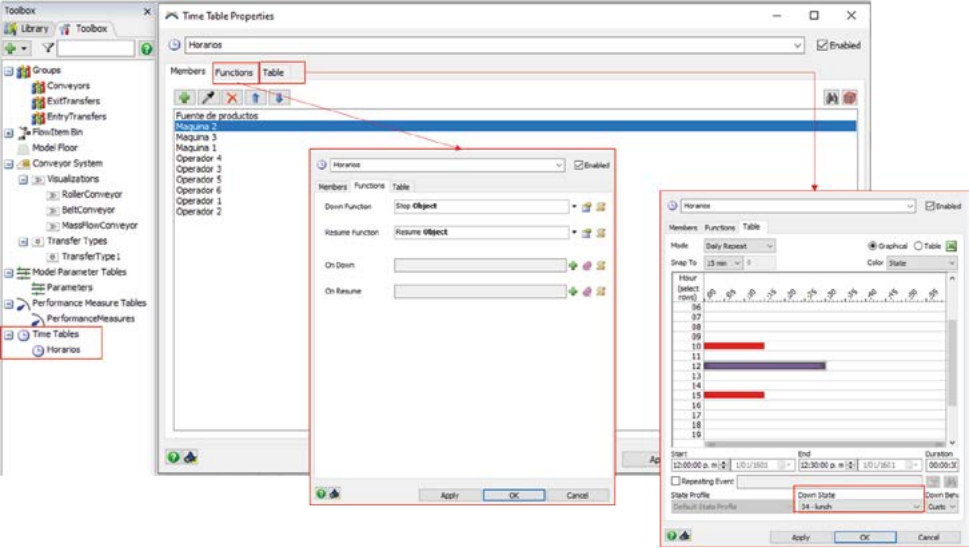


Figura 32. Paradas programadas
Fuente. FlexSim (2022)

Por último se configura el tiempo de parada de la simulación, que sería a las 6:00 pm; la configuración se muestra en la opción de Run Speed y se activa el Stop Times para que la simulación se detenga a los 36.000 segundos (Figura 33).

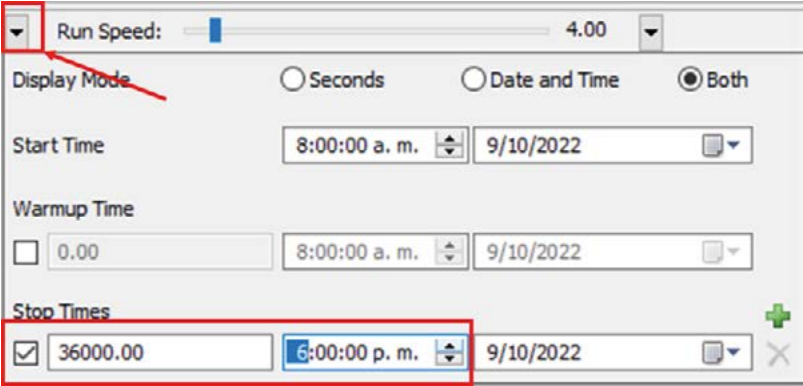


Figura 33. Horario de tiempo
Fuente. FlexSim (2022)

Con esto terminamos la construcción del modelo base, ahora se debe correr el modelo con la opción Run Stop y nuevamente Run para que modelo compile las últimas configuraciones. Los resultados se presentan en la siguiente sección.

RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Para visualizar los resultados se hace uso de los Dashboard que permite visualizar el comportamiento del modelo a través de los indicadores predeterminados del simulador, el procedimiento se realiza de la siguiente manera (Figura 34).

1. Se abre el tablero en la opción Dashboard.
2. Se arrastra al Dashboard el indicador que se quiere visualizar.
3. Se selecciona los objetos a los que se quiere ver las estadísticas.
4. Se corre modelo.

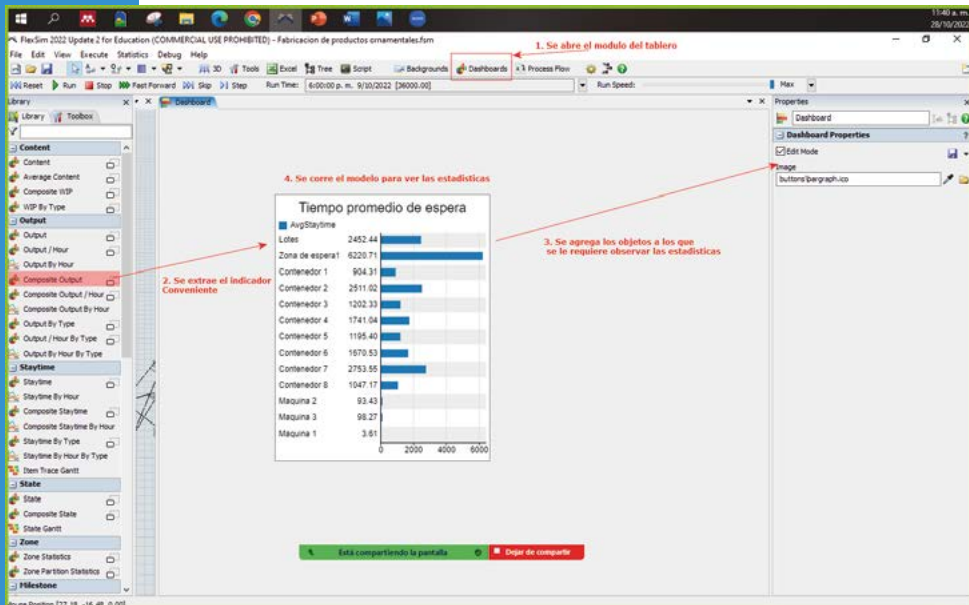


Figura 34. Uso de los Dashboard para visualizar las estadísticas
Fuente. FlexSim (2022)



Tiempo promedio de espera para procesamiento por producto

El indicador de tiempo promedio de espera muestra (Figura 35) que los tiempos de procesamiento de las máquinas son menores a los tiempos de espera de los contenedores, se evidencia que en la zona de espera 1 es donde los productos tienen que esperar mayor tiempo, esto significa que en el proceso siguiente se esté presentado cuello de botella, porque los productos llegan cada 35 o 55 segundos mientras que en las máquinas tardan en procesarse entre 75 y 85 segundos.

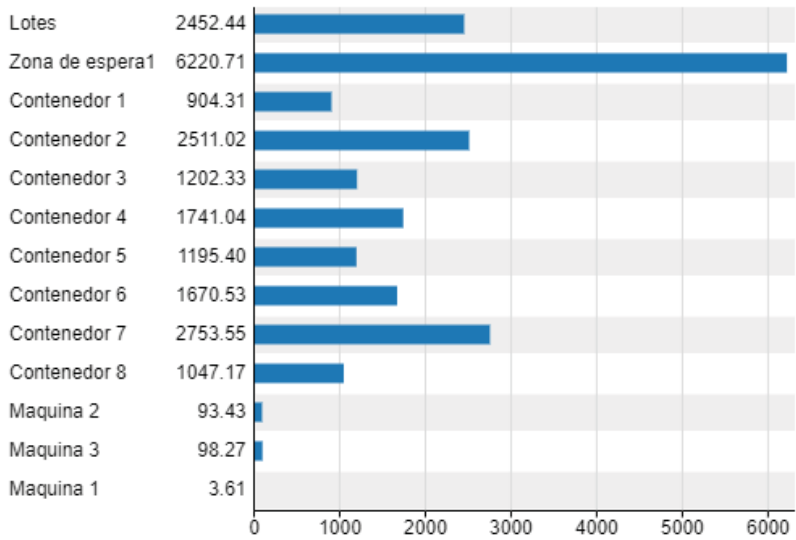


Figura 35. Tiempo promedio de espera en segundos
Fuente. FlexSim (2022)

Promedio de salida de productos por hora

Ahora se revisa el promedio de salida de productos por hora en los contenedores finales, se puede ver que los contenedores que mayor salida tienen son los contenedores de los productos 1, 3 y 8. Al parecer este comportamiento está asociado con la velocidad de procesamiento de estos productos, además de que los lotes de salida son mayores que los demás (Figura 36).



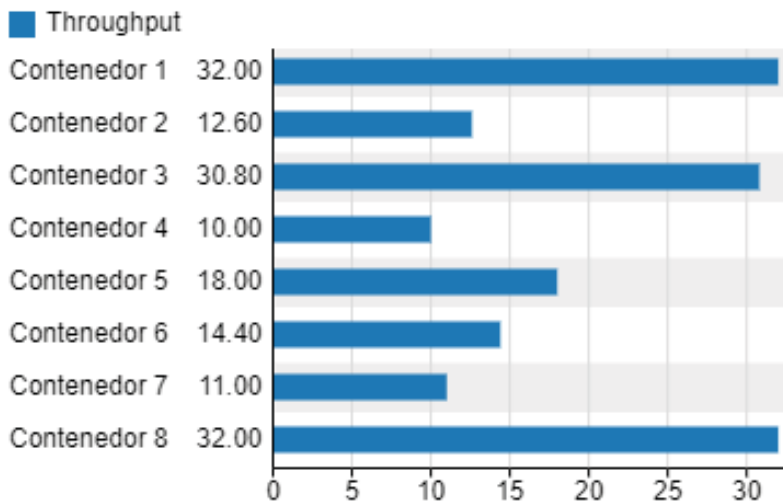


Figura 36. Salida de contenedores por hora
Fuente. FlexSim (2022)

Distancia recorrida de los operadores

A continuación, se muestra la distancia recorrida por operarios, esta información es útil para tomar acciones de mejora con respecto a tiempos ocios por distancias recorridas, en la Figura 37 se puede ver que el operario 6 es el trabajador que mayor distancia recorre, esto se debe que es el único operario que se encarga de distribuir los productos procesados para llevarlos a los contenedores finales.

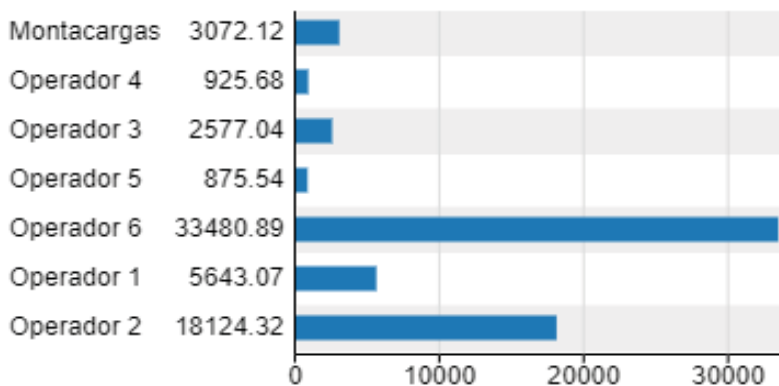


Figura 37. Distancia recorrida en metros
Fuente. FlexSim (2022)



Porcentaje de ocupación de los operadores

Por último se muestra (Figura 38) cómo fue el comportamiento con respecto a la ocupación de los operarios, se puede ver que el operario 4 y 5 fueron quienes mayor tiempo estuvieron ocupados, ello son los operarios encargados de operar las máquinas de desbordado; también se puede ver que los operarios con menor tiempo de utilización son los operarios 3 y 1.

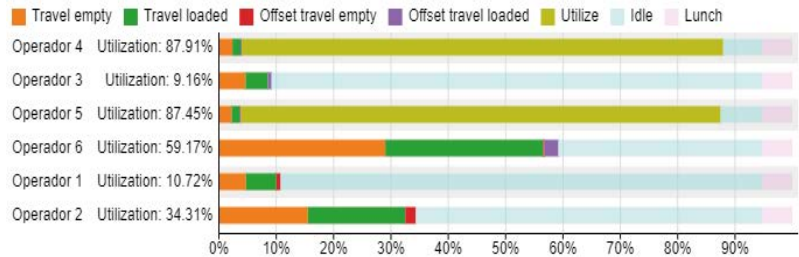


Figura 38. Porcentaje de ocupación de los operarios

Fuente. FlexSim (2022)

EJERCICIOS PARA QUE EL ESTUDIANTE DESARROLLE COMO PRÁCTICA

1. Simular el comportamiento del sistema con 4 máquinas.
2. Simular el comportamiento del sistema reemplazando el operario 6 por una banda transportadora que sea capaz de clasificar los productos según su tipo.

GLOSARIO

Queue: La cola es un objeto del software Flexsim que se utiliza para almacenar elementos de flujo cuando un objeto descendente aún no puede aceptarlos. De forma predeterminada, la cola funciona según el principio de “primero en entrar, primero en salir”, lo que significa que cuando el objeto descendente está disponible, el elemento de flujo que ha estado esperando ese objeto por más tiempo saldrá primero de la cola. La cola tiene opciones para acumular elementos de flujo en un lote antes de liberarlos.

Processor: El Processor es un objeto de Flexsim que se utiliza para simular el procesamiento de elementos de flujo en un modelo. El proceso simplemente se modela como un retraso de tiempo forzado. El tiempo total se divide entre un tiempo de configuración y un tiempo de proceso. El procesador puede procesar más de un elemento de flujo a la vez. Los procesadores pueden llamar a los operadores durante sus tiempos de configuración y/o procesamiento. Cuando un procesador falla, todos los elementos de flujo que está procesando se retrasarán.

Source: El Source es un objeto de Flexsim que se utiliza para crear los elementos de flujo que viajan a través de un modelo. Cada fuente crea una clase de elemento de flujo y luego puede asignar propiedades como etiquetas o colores al elemento de flujo que crea. Las fuentes pueden crear elementos de flujo según una tasa entre llegadas, según una lista de llegadas programadas o simplemente a partir de una secuencia de llegadas definida.

FlowItems: Son los elementos que viajan a través del modelo, estos pueden ser materias primas o productos en procesamiento.



REFERENCIAS

- Beltrán-Pellicer. P; Godino, J & Giacomone, B. (2018). Elaboración de Indicadores Específicos de Idoneidad Didáctica En Probabilidad: Aplicación Para La Reflexión Sobre La Práctica Docente. *Bolema: Boletim de Educação Matemática* 32(61): 526–48.
- Burbano V. M.A. (2014) La Simulación En El Contexto de Una Didáctica de La Estadística y La Probabilidad. Investigación. *Revista Científica ALAMMI*, 2: 32-43.
- Bolaños, O. (2008). Importancia de La Simulación En La Mejora de Procesos. *AANA Journal* 76(5): 381–82.
- Cao, H. (2002). *Development of Techniques for General Purpose Simulators*. Stanford University.
- Correoso, Y; Chávez M & Puig L. (2011). Alternativas Didácticas de La Estadística Inferencial en el Pregrado de Las Ciencias de La Salud. *Revista Información Científica* 72(4): 1–9.
- Cruz T. (2018) Enseñanza de Función Variable Aleatoria, Función de Probabilidad y Función de Distribución de Probabilidad por medio de la Teoría de Registros de Representaciones Semióticas y la Teoría de Situaciones Didácticas Enseñanza de Función Variable Aleatoria. Trabajo de grado. Universidad Alberto Hurtado.
- Diharce, E. (2008). Técnicas de Simulación para el análisis estadístico de datos de Medición. *Centro de investigación en Matemáticas*.
- Faca, G; Barrera J & Mansilla, J. (2021). “Integración de la Ingeniería Digital en las asignaturas de Ingeniería Industrial.” In *Convergencia Entre Educación y Tecnología: Hacia Un Nuevo Paradigma: XXIV Congreso Internacional EDUTEC*, Eudeba, 159–63.
- Flexsim (2021). “Home FlexSim.” *FlexSim Andina*. <https://www.flexsim.co/> (October 28, 2022).
- FlexSim. (2022). “Manual de FlexSim.” <https://docs.flexsim.com/en/23.0/Introduction/Welcome/Welcome.html> (October 28, 2022).
- Hidalgo, A (2019). Técnicas Estadísticas En El Análisis Cuantitativo de Datos. *Revista Sigma* 15(1): 28–44.
- Kelmansky, D. (2009). Estadística Para Todos. Estrategias de pensamiento y herramientas para la solución de problemas. Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Marmolejo, Isaías Simon. 2016. Un Primer Paso a La Simulación Con Flexsim. *FlexSim Iberia* 0(0): 23–36.

Martínez-García, J, & Martínez-Caro, L. (2009). La Validez Discriminante Como Criterio de Evaluación de Escalas: ¿Teoría o Estadística? *Universitas Psychologica* 8(1): 27–36.

Morales, N. (2021). *Implementación de Motor de Limpieza de Datos para la Estandarización de los Datos Insumo del Análisis de Riesgos en una entidad del Estado*. Trabajo de Grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Orellana, M & Cedillo, P. (2020). Detección de Valores Atípicos Con Técnicas de Minería de Datos y Métodos Estadísticos. *Enfoque UTE* 11(1): 56–67.

Palma, R. & Forradellas, R. (2009). Propuesta para optimización de Sistemas Productivos Modelados con simulación por eventos discretos." In *XI Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación*.

Ruiz, G (2019). Modelo de Análisis de Datos Utilizando Técnicas de Aprendizaje Supervisado y No Supervisado, Para Identificar Patrones En La Información Generada Por Los Pacientes, Sometidos a Juegos Diseñados Como Un Instrumento de Apoyo Terapéutico. *Universidad de Bogotá*: 18–19.

Simón, I. (2016). Un primer paso a la Simulación con FlexSim. *FlexSim Iberia*.

Solar, J. (2018). Modelo Cross Docking como herramienta de gestión para la cadena de suministro global del ñame en el departamento de Sucre. Trabajo de grado. Maestría en Logística Integral, Universidad Tecnológica de Bolívar.

Valenzuela, S; Batanero, C & Begué, N. (2021). Recursos en Internet para el estudio de los Estadísticos de Orden. *Revista Sergipana de Matemática e Educação Matemática* 6(1): 1–22.

Vargas-Rojas, J. (2021). Uniformity Trials Simulation to Determine the Statistical Power in Yield Rice Trials. *Agro-nomía Mesoamericana* 32(1): 196–208.

Villarreal, O & J. Landeta Rodríguez (2010). El Estudio de Casos como Metodología de Investigación Científica en Dirección y Economía de la Empresa. Una Aplicación a La Internacionalización. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa* 16(3): 31–52.



Fundamentos de la simulación con Flexsim

La edición estuvo al cuidado de
Paola Martínez Acosta

La simulación se ha convertido en una herramienta útil para corroborar la información teórica que se aborda en los diferentes cursos de Ingeniería Industrial, ya que permite percibir las capacidades y comportamiento de un sistema, sin la necesidad de reproducirlo o experimentar con el real, ya sea por los costos, riesgos y/o limitantes que esto conlleve (Faca, Barrera & Mansilla, 2021).

Este documento presenta el desarrollo de una guía para entender los conceptos de simulación y su aplicabilidad en FlexSim, un poderoso software de simulación que permite visualizar y probar cambios en las operaciones y procesos de logística, manejo de materiales y manufactura de una manera rápida y sencilla, evitando los altos costos, riesgos y el extenso tiempo que implica la experimentación de cambios en el mundo real y su análisis por prueba y error.

