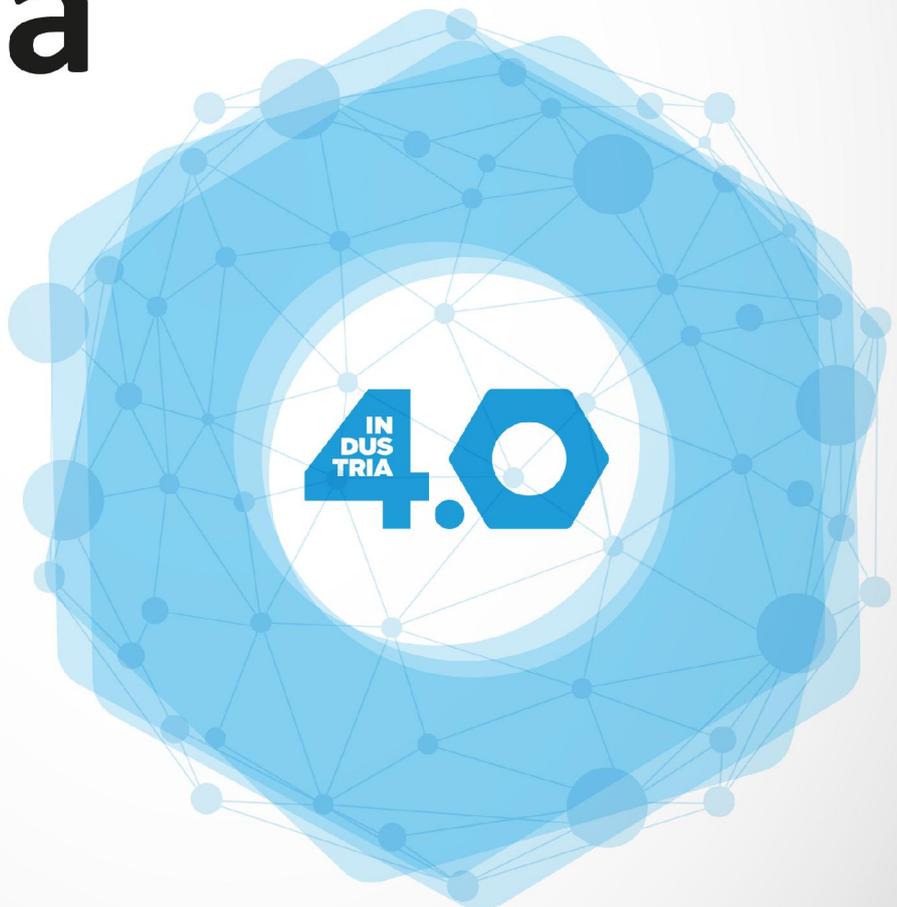




Oportunidades Industria 4.0 en Galicia

Convenio de
colaboración entre el
Instituto Gallego de
Promoción
Económica, la Alianza
Tecnológica
Intersectorial de
Galicia y los centros
integrantes de esta
alianza para la
detección y análisis de
oportunidades
sectoriales para las
empresas industriales
gallegas en el ámbito
de la industria 4.0



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 DEFINICIÓN/DESCRIPCIÓN	4
1.1.1 Clasificación de los modelos	4
1.2 BREVE HISTORIA	5
1.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES	7
1.4 TENDENCIAS	7
1.5 APLICACIONES ACTUALES	9
2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA	10
2.1 SOFTWARES DE MODELIZACIÓN, SIMULACIÓN Y VIRTUALIZACIÓN DE PROCESOS	10
2.1.1 Anylogic	10
2.1.2 Arena Simulation	11
2.1.3 Flexsim	12
2.1.4 IndustrySim	13
2.1.5 Siemens PLM	14
2.1.6 Simio	15
2.1.7 Visual Components	16
2.1.8 Enterprise Dynamics	17
2.1.9 Simul8	18
2.1.10 Simscript III	19
2.1.11 Promodel	20
2.2 PROYECTOS	22
3. APLICACIONES POR SECTOR	24
3.1 SECTOR AGROALIMENTACIÓN Y BIO	24
3.2 SECTOR AUTOMOCIÓN	24
3.3 SECTOR MADERA/FORESTAL	25
3.4 SECTOR NAVAL	25
3.5 SECTOR METALMECÁNICO	26
3.6 SECTOR TEXTIL/MODA	26
3.7 SECTOR AERONÁUTICO	27
3.8 SECTOR ENERGÍAS RENOVABLES	28
3.9 SECTOR PIEDRA NATURAL	28
4. CONCLUSIONES/IMPACTO EN LA INDUSTRIA	29

4.1	PRINCIPALES RETOS	29
4.2	PERSPECTIVA A MEDIO Y LARGO PLAZO	29
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DEFINICIÓN/DESCRIPCIÓN

La gran cantidad de información disponible a través de las tecnologías implementadas en la Industria 4.0 (IoT, Big Data, sistemas ciberfísicos), permite realizar simulaciones para **predecir el consumo de recursos y optimizar su utilización**.

Un primer paso para tratar de comprender mejor el funcionamiento de un sistema de la vida real es hacer un **modelo matemático** para el sistema, que resume las partes esenciales del sistema en lenguaje matemático, involucrando variables, parámetros, fórmulas, distribuciones de probabilidad, relaciones, diagramas, etc. Un modelo es una representación simplificada de un sistema que permite predecir el comportamiento del mismo sin recurrir a la experimentación sobre dicho sistema. El uso de modelos matemáticos como instrumentos de evaluación de alternativas tiene cada vez una mayor importancia ya que la mayoría de los procesos están sometidos al cambio continuo. Para poder tomar las decisiones idóneas es necesario saber cómo responderá el sistema ante una determinada acción. La simulación es el proceso de experimentar con un modelo.

Para ser útil, un modelo debe incorporar elementos de **realismo y simplicidad**. Por una parte, el modelo debe servir como una aproximación cercana al sistema real e incorporar la mayor parte de los aspectos del sistema real. Por otro lado, el modelo no debe ser demasiado complejo para impedir su comprensión y manipulación. Cuando el modelo es relativamente simple, puede ser posible estudiarlo analíticamente mediante expresiones que describen el comportamiento de ciertos aspectos del sistema. Para sistemas más complejos, los enfoques analíticos suelen ser mucho más difíciles o imposibles de realizar. En cambio, el sistema se analiza a menudo numéricamente mediante simulación por ordenador, con el supuesto de que el sistema simulado es suficientemente parecido al sistema real para sacar conclusiones válidas sobre el último (ILUSTRACIÓN 1).

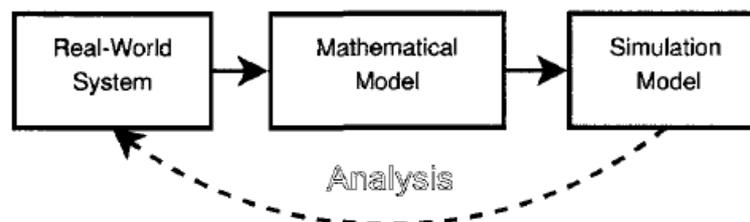


ILUSTRACIÓN 1. MODELADO DE LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS. FUENTE: KROESE, TAIMRE, & BOTEV, 2011

1.1.1 Clasificación de los modelos

Los modelos de simulación pretenden imitar el comportamiento de los sistemas de la vida real. Un sistema está formado por una colección de entidades u objetos que interactúan formando un todo complejo (Kroese, Taimre, & Botev, 2011). Los modelos se pueden clasificar en función de la manera en que las variables evolucionan en el tiempo:

- **Tiempo Continuo:** Las variables evolucionan continuamente en el tiempo. Generalmente se representan mediante ecuaciones diferenciales.

- **Tiempo Discreto:** Las variables sólo pueden cambiar en determinados instantes de tiempo.
- **Eventos Discretos:** Las variables pueden cambiar en cualquier momento, pero sólo puede haber números finitos de cambios en intervalos de tiempo finitos.

El **modelado de eventos discretos** (*discrete-event simulation –DES-*) es el proceso que representa el comportamiento de un sistema complejo como una serie de eventos bien definidos y ordenados y funciona bien en prácticamente cualquier proceso en el que hay una variabilidad. La simulación de eventos discretos modela la operación de un sistema como una secuencia de eventos discretos en el tiempo. Cada evento ocurre en un momento particular en el tiempo y marca el cambio de estado en el sistema. Entre eventos consecutivos se asume que no ocurren cambios en el sistema, por lo que la simulación puede saltar directamente de un evento a otro. Se convierte por lo tanto, en una herramienta de análisis para la toma de decisiones relacionadas con la planificación de la producción y los inventarios, con el diseño de los sistemas de producción y sus cadenas de suministro.

En la simulación de eventos discretos se generan y administran eventos en el tiempo a través de una cola de eventos ordenada. De esta forma, el simulador lee de la cola y dispara nuevos eventos. Esta tipología de simulación se emplea en el diseño de la mayoría de eslabones de la cadena de suministro como: líneas de producción, plantas de procesamiento, hospitales, etc.

El **modelo de simulación de eventos discretos** permite resolver procesos y sistemas cuyo análisis mediante métodos matemáticos resulta complejo. Se construyen modelos lógico-matemáticos que permiten imitar o simular el comportamiento del mundo real. La repetición de la simulación un número suficiente de veces permite obtener un histórico artificial de observaciones sobre el comportamiento del sistema o proceso a partir de las cuales mediante técnicas de análisis estadístico, es posible extraer conclusiones sobre el funcionamiento del sistema.

La principal característica de un sistema de eventos discretos es que el sistema está determinado por una secuencia de eventos que ocurren en momentos aleatorios de tiempo y el cambio de estado del sistema tiene lugar en esos instantes (Rosete, 2017). Esto contrasta con la simulación en continuo en la que la simulación representa la dinámica del sistema con el tiempo. Debido a que las simulaciones de eventos discretos no tienen que simular cada segmento de tiempo, por lo general pueden correr mucho más rápido que la simulación continua.

1.2 BREVE HISTORIA

La simulación de eventos discretos es una de las técnicas de modelización más habituales. Desde los primeros días de la simulación por ordenador en los años 50, la proliferación de los **softwares de simulación y desarrollos** continuos en computación han introducido cambios en las maneras en las que se desarrolla la simulación (Robinson, 2005).

A finales de los años cincuenta y sesenta, los pioneros en el campo de la simulación sentaron las bases para los desarrollos futuros. Aprovechando la oportunidad que ofrece la primera generación de ordenadores, las simulaciones de los **años 50** se desarrollaron en código de máquina. Mientras tanto, la introducción de lenguajes de programación y computadoras más potentes y fiables de los **años 60** mejoraron enormemente el potencial para desarrollar simulaciones. Esto permitió realizar avances en la metodología de simulación (Robinson, 2005).

En los años 60 se desarrolló el primer software de simulación especializado, por ejemplo, **GPSS** y **SIMSCRIPT**. **SIMULA**, desarrollado en Noruega, fue un precursor de los lenguajes modernos de programación.

Los años setenta representan un período de continuo desarrollo e innovación. La tecnología informática siguió avanzando y con ella el software de simulación siguió mejorando. Se crearon nuevos lenguajes como **SLAM** y **GPSS-H**.

Hasta la década de 1980, la aplicación comercial de la simulación estaba limitada por la necesidad de hardware que tenía un precio elevado y la necesidad de conocimientos especializados de computación. Sin embargo, los ordenadores empezaron a convertirse en algo común en las empresas y se produjo el desarrollo de software **VIS (visual interactive simulation)**, como SEEWY.

A finales de la década de 1980, la mayoría de las organizaciones disponían de potentes microcomputadoras y gran cantidad de paquetes comerciales de VIS estaban disponibles como WITNESS, HOCUS, GENETIK, SIMAN/CINEMA, y ProModel. Esto permitió que muchas empresas empezasen a utilizar la simulación como una herramienta de ayuda para la toma de decisiones.

Después de la revolución de los años ochenta, en términos de simulación, los años noventa representan un período de evolución continua y cambio constante. Las principales áreas de cambio son el desarrollo de modelos interactivos visuales, optimización de simulación, realidad virtual, software de integración y simulación en el **sector servicios**. Estos cambios deben principalmente al desarrollo de la informática. Los ordenadores más potentes permitieron desarrollar modelos de mayor escala y motores más ágiles de cálculo. La tecnología Windows mejoró la facilidad de uso y creó una interfaz para usuarios.

Los acontecimientos específicos en los últimos años incluyen modelado interactivo, optimización de simulación, realidad virtual, integración con otros programas informáticos, simulación en el sector de servicios, simulación distribuida y uso web.

Hacia finales de la década de 1980, WITNESS y ProModel estuvieron entre los **primeros paquetes de simulación comercial** con un menú interfaz para el desarrollo del modelo. A estos les siguieron otros paquetes de sistemas de modelado interactivo visual (VIM) como Arena, QUEST, Taylor II, AutoMod, AweSim, Micro Saint, Enterprise Dynamics y Flexsim en los que el usuario no sólo podría interactuar con una simulación visual, sino que el proceso de desarrollo del modelo también podría llevarse a cabo de manera visual e interactiva.

Como resultado de la introducción de estos paquetes, el desarrollo y uso de un modelo de simulación ya no eran necesarias habilidades específicas de informática, aunque esto no significa que no sean necesarias habilidades de modelado. Dado que las simulaciones implican una imitación (simplificada) de un mundo complejo, las construcciones sencillas basadas en menús rara vez son suficientes para incorporar el nivel de detalle requerido. Estos paquetes han tenido cierto éxito y ciertamente han ampliado el acceso a la simulación.

1.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES

La simulación permite ayuda a detectar cuello de botella, distribuir personal, modificar la producción durante el proceso de fabricación. En las plantas industriales la simulación de procesos proporciona información para la definición de las condiciones óptimas de operación y la elaboración de procedimientos de operación, predice la demanda de energía. Además, la simulación también puede ser empleada en aplicaciones logísticas detectando zonas de posible congestión o zonas con mayor riesgo de accidentes. En concreto la simulación de eventos discretos presenta numerosas **ventajas** a la hora de diseñar y planear diferentes eslabones de la cadena de suministro:

- Permite **modelar situaciones de alto nivel de complejidad con funciones relativamente sencillas**, de esta forma es posible construir modelos que representen la realidad en el nivel de detalle deseado.
- Es posible **obtener todo tipo de estadísticas e indicadores relevantes** a la operación modelada (diagramas de Gantt de las piezas en proceso, utilización de recursos humanos, diagramas de Gantt de los recursos utilizados, tiempos de ciclo de piezas en proceso, etc.).

A pesar de eso, a día de hoy la simulación aún tiene margen de mejora, y presenta algunas **limitaciones** entre los que se podrían citar (García Dunna, 2006):

- La simulación puede ser **costosa en problemas relativamente sencillos**. Se requieren procesos complejos en lugar de sencillas soluciones creadas para ese tipo de eventos concretos.
- Para completar un buen estudio de simulación **puede llegar a necesitarse mucho tiempo**, y no todas las empresas se pueden permitir contratar a un desarrollador.
- Sin embargo, la principal limitación actualmente reside en el hecho de que, aunque cada vez las simulaciones y modelizaciones son más parecidas al resultado final, aún **no son capaces de incluir todos los procesos**, por lo que no permiten un uso fácil y eficiente de la información.

1.4 TENDENCIAS

Con respecto al **desarrollo del modelo de simulación**, no parece haber un gran avance en cómo se desarrollan los modelos de simulación desde la introducción de VIM a finales de los años ochenta, que ofrece una forma más fácil de usar que sus predecesores. Sin embargo, existe una restricción sobre la facilidad de uso generada, no por el software, sino por la naturaleza de los sistemas que están siendo modelados son difíciles de representar. Si los sistemas que se están modelando son complejos, las propias simulaciones deben implicar algún nivel de complejidad.

Las cuestiones críticas se encuentran en las áreas de **modelado conceptual** (decidir qué modelo) y **validación** (determinando si el modelo es correcto). Tal vez sea en estas dos áreas en las que es necesario la mejora en el proceso de desarrollo del modelo.

La reutilización de modelos y de componentes parece tener cierto potencial para ayudar a acelerar y facilitar el desarrollo de las simulaciones, especialmente si los componentes podrían ser compartidos entre desarrolladores de modelos.

La **reutilización de componentes** ya está disponible en paquetes de simulación que los usuarios seleccionan desde un menú de componentes básicos. Algunas barreras con respecto a esta práctica pueden ser el tiempo necesario para aprender, probar y ajustar el modelo/componente de otra persona,

lo que puede ser mayor que el tiempo necesario para simulación desde cero; así como que, los modelos /componentes construidos para un propósito no pueden ser adecuados para otro propósito diferente, incluso si es el mismo tipo de sistema que se está investigando. Finalmente, existe el problema de que los costos recaen sobre el proveedor del modelo/componente mientras que los beneficios van al usuario. Puede ser que, debido a estas cuestiones, la reutilización siempre estará limitada a componentes de nivel relativamente bajo.

Otra vía para cambiar el desarrollo de los modelos de simulación es **automatizar (o al menos guiar) el proceso**. El modelador podría proporcionar una descripción del modelo y un intérprete convertiría esto en código de modelo ejecutable.

El **uso del modelo** también implica tomar una serie de cuestiones como establecer las condiciones iniciales, decidir cuánto tiempo se deja correr la simulación, número de repeticiones, etc. Existen métodos que podrían utilizarse para guiar a un usuario en todas estas áreas, pero hay pocas evidencias de que estos métodos estén implementadas en softwares comerciales de simulación. Esto podría ser abordado mediante el desarrollo de software para guiar la simulación de usuarios o incluso automatizar aspectos del proceso experimental.

AutoStat (parte del software AutoMod) es uno de las pocas excepciones que proporcionan características de análisis de salida incluyendo calentamiento, intervalos de confianza, análisis de sensibilidad y diseño de experimentos.

El **dominio de la aplicación para la simulación**. La simulación es una herramienta que se utiliza en gran medida en la fase de diseño de un sistema, como se utiliza en la industria. Una forma en que podría ampliarse el uso de la simulación es con la búsqueda de nuevos dominios de aplicación en los sectores en los que ya se está utilizando. Hay potencial para que la simulación pueda ser aplicada en áreas como:

- Emulación para ayudar al diseño de sistemas de control.
- Programación.
- Predicción de futuros resultados.
- Control en tiempo real.
- Entrenamiento.
-

Otra vía a considerar es el **modelado del comportamiento humano** y la interacción con un sistema de operaciones. El propósito debe ser entender mejor cómo la interacción humana con un sistema de operaciones afecta el desempeño de ese sistema y buscar maneras de mejorar las acciones, comportamientos y decisiones de los actores humanos. El requisito aquí es poder construir y usar rápidamente simulaciones (muy aproximadas), posiblemente en un entorno de toma de decisiones de grupo.

Integración con otros enfoques de simulación. Otra vía que podría seguir la simulación de eventos discretos es una mayor integración con otras técnicas de simulación y comunidades. La dinámica del sistema, simulación basada en agentes, juegos de simulación y simulación continua han seguido caminos separados tanto en la investigación como en la práctica.

1.5 APLICACIONES ACTUALES

Los sistemas de eventos discretos modelan el comportamiento de una amplia variedad de sistemas en ingeniería y la investigación operativa. Las aplicaciones se pueden encontrar, por ejemplo, en la programación de la producción, tráfico y transporte, control de inventario, fabricación, defensa, finanzas, telecomunicaciones y sistemas informáticos, como se verá más en detalle en el apartado 0.

2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA

Actualmente existen en el mercado una gran variedad de softwares de modelización, simulación y virtualización de procesos. La llegada de la **tecnología 3D** ha conseguido que estos softwares sean más sencillos e intuitivos. Como ventaja, muchos de ellos ofrecen cursos, o incluso grados universitarios para especializarse con cada software. Además, para una mejor comprensión de los procesos, los softwares muestran el ciclo de tiempo de simulación de manera animada (3D). En los siguientes apartados se realiza una revisión de las características principales de los diferentes softwares, basados en la simulación de eventos discretos, que podemos encontrar actualmente en el mercado.

2.1 SOFTWARES DE MODELIZACIÓN, SIMULACIÓN Y VIRTUALIZACIÓN DE PROCESOS

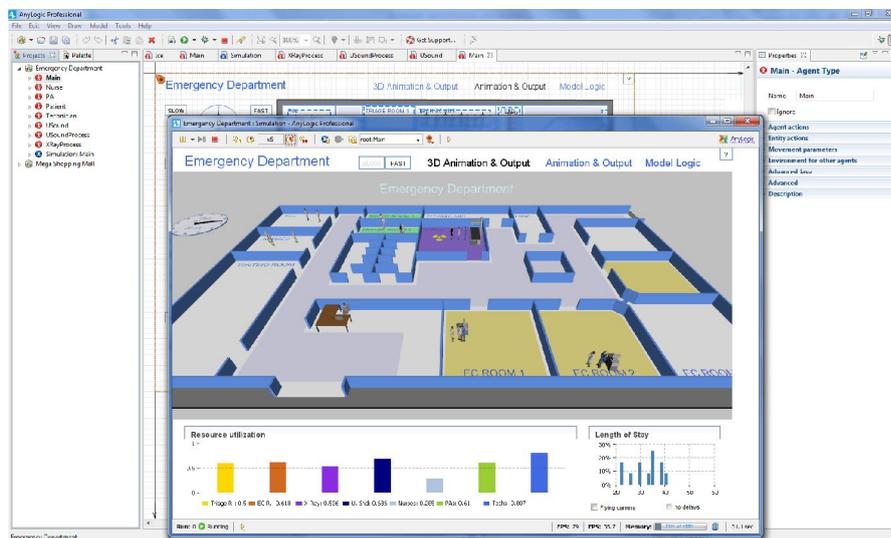


ILUSTRACIÓN 2. INTERFAZ DEL SOFTWARE ANYLOGIC. FUENTE: THE ANYLOGIC COMPANY, 2017

2.1.1 Anylogic

Este software pertenece a Anylogic Company, empresa que creó el software en 2000 en Rusia. Con su desarrollo se ha conseguido que con una única herramienta se pueda englobar la heterogeneidad de los sistemas de negocio. Trabaja en un entorno Java, que tiene la ventaja de tener una **extensibilidad ilimitada**, además de poder importar códigos propios y bibliotecas y fuentes de datos externas. Se puede desarrollar el proyecto en cualquier lugar tan solo generando una aplicación Java.

Cuenta con un amplio conjunto de funciones de distribución estadística que proporciona una buena plataforma para la simulación de la incertidumbre. También cuenta con una función de apoyo a simulaciones de Montecarlo.

En el transcurso de la simulación, puede comprobarse gracias a la simulación 3D, pudiendo diseñar cada objeto dentro de una misma cadena con diferentes detalles. Se basa en el modelado de agentes, y su uso acoge un campo muy variado, pudiendo servir para aplicaciones en cadenas de suministros y logística, mercados y competencia, ferrocarriles, salud, flujos de personas, militares, planificaciones y gestiones estratégicas o procesos sociales (The Anylogic Company, 2017).

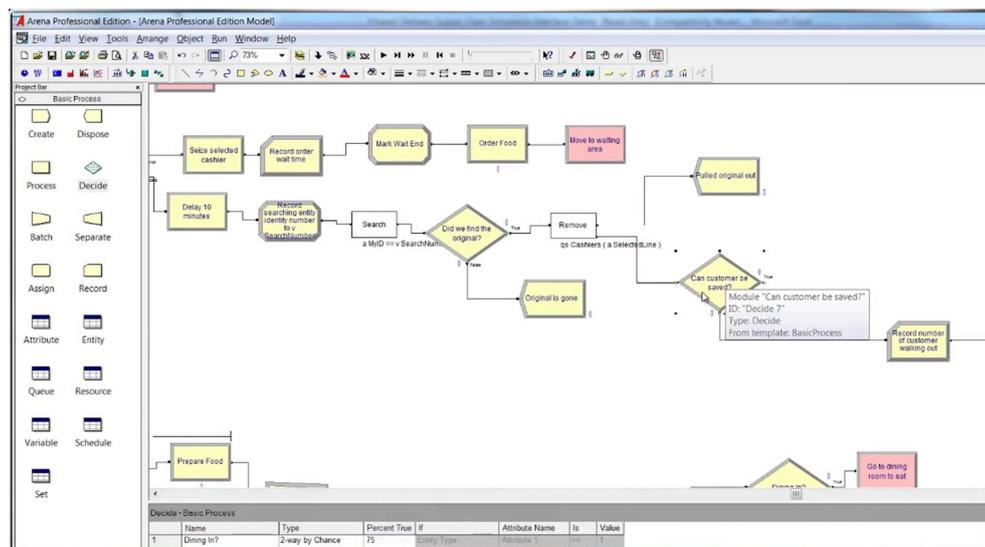


ILUSTRACIÓN 3. INTERFAZ DEL SOFTWARE ARENA. FUENTE: ROCKWELL AUTOMATION, 2017

2.1.2 Arena Simulation

Arena Simulation ayuda a las empresas a predecir el impacto de nuevas ideas o estrategias de negocio sin poner en peligro el nivel de servicio actual y sus clientes. Este software fue adquirido por Rockwell Automation en el año 2000. Como principales soluciones que la empresa ofrece a través de su software, está **la optimización del tiempo de la toma de decisiones, la identificación de cuellos de botella y el aumento de la fiabilidad** de los procesos. Este software lleva funcionando 30 años.

Utiliza el procesador y el lenguaje SIMAN. Tiene la posibilidad de ver la simulación en 2D y 3D, además de una amplia biblioteca de bloques de construcción y una completa distribución estadística para ajustar el resultado final lo más posible a la realidad e intentar disminuir la variabilidad del proceso. Tiene uso en aplicaciones en sectores de alimentación, minería, logística, servicio al por menor, salud, gobierno, fabricación, etc.

Para el modelado de procesos de negocio, cuenta con la posibilidad de monitorizar, analizar y entender el comportamiento de los flujos de trabajo. Además, tiene un apartado de gráficos donde poder comprobar fácilmente los sistemas de negocios complejos. Con esta herramienta, se pueden cambiar modelos para ver su influencia en el proceso (Rockwell Automation, 2017).

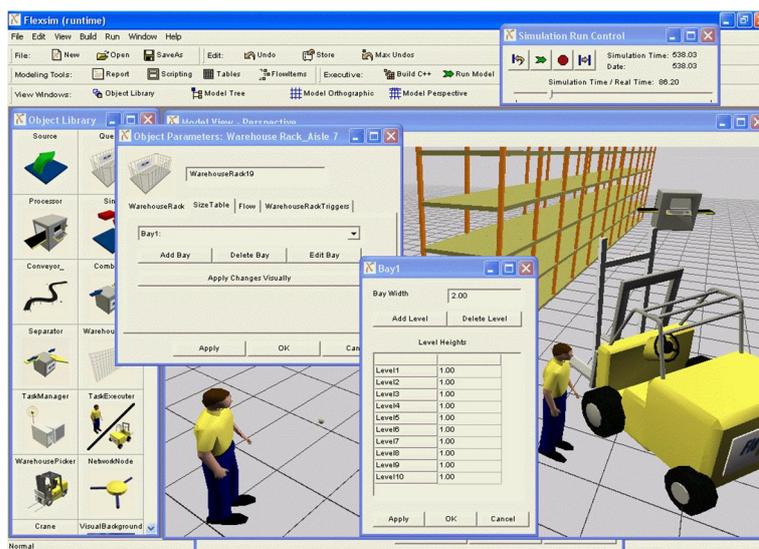


ILUSTRACIÓN 4. INTERFAZ DEL SOFTWARE FLEXSIM. FUENTE: PLANET TOGETHER, 2017

2.1.3 Flexsim

Flexim Simulation Program (FSP) es una empresa fundada en 1993. Desde 2001, crea software de simulación, en el que se encuentra el suyo propio, Flexsim, y ofrece servicios de modelados de simulación. Este software destaca por su facilidad de uso, un gran rendimiento y visualización 3D y una mayor extensibilidad. Como resultado, proporciona soluciones a los negocios, ofreciendo un **alto grado de personalización** al permitir importar archivos propios CAD, aparte de la gran biblioteca que dispone internamente, y mostrando unos resultados donde se identifican los cuellos de botella.

El cliente puede comprobar fácilmente toda la estructura del negocio a través de gráficos y tablas. Gracias a una herramienta experimentadora como OptQuest, el usuario puede **realizar varias simulaciones a la vez** para comprobar cuál es la mejor optimizada (Opttek, 2017). Todo el software utiliza el lenguaje C++, para que sea fácil añadir archivos DLL de elaboración casera. Además, permite exportar todos los resultados en HTML, para poder almacenarse.

El uso más reciente de esta aplicación es en el campo de la salud, que tiene como objetivo mejorar la atención de los pacientes y el uso de recursos controlando el flujo de personas. Se usa en otras aplicaciones, como la implementación de *Six Sigma* o la metodología *Lean*, en campos como fabricación, logística, minería, militar, modelado de negocios, etc (FlexSim, 2017).

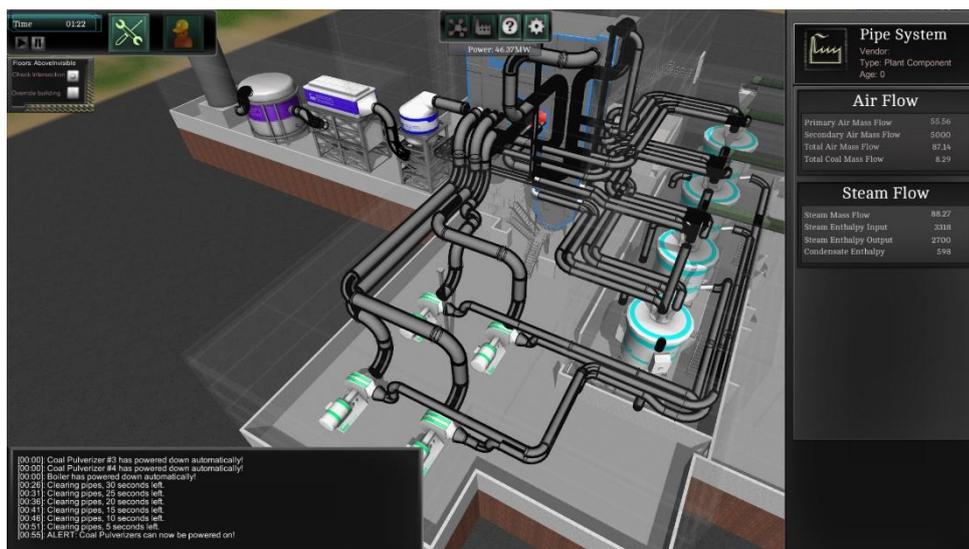


ILUSTRACIÓN 5. INTERFAZ DEL SOFTWARE INDUSTRYSIM. FUENTE: INDUSTRYSIM LTD., 2017

2.1.4 IndustrySim

Esta herramienta proporciona una mirada diferente en la simulación de eventos. Se trata de una plataforma visual en un entorno 3D donde los usuarios son capaces de observar e interactuar con simulaciones de diversos procesos industriales. Contiene unos parámetros muy precisos, haciendo el programa apto para el ámbito profesional. Está pensado para el **mercado B2B** (ser utilizado en pequeñas y medianas empresas).

Tiene una biblioteca con diversos casos creados, pero se pueden cargar diseños propios CAD/3D. Una vez construido el proceso, el usuario puede jugar en él, resolviendo posibles problemas que podrán existir en el futuro, aprendiendo como poder resolverlos. Dada esta característica, la hace **recomendable en ámbitos educativos y formativos**. También da conocimiento sobre los productos favorables y desfavorables al medio ambiente, buscando crear procesos sostenibles. Se centra mucho en la innovación tecnológica, creando un laboratorio de investigación virtual para el desarrollo de procesos.

Las principales aplicaciones de esta herramienta, además del ámbito educativo, son la **logística** del producto y, mayormente, la **simulación de la industria**, precisamente donde se desenvuelve el apartado de jugabilidad (IndustrySim Ltd., 2017).

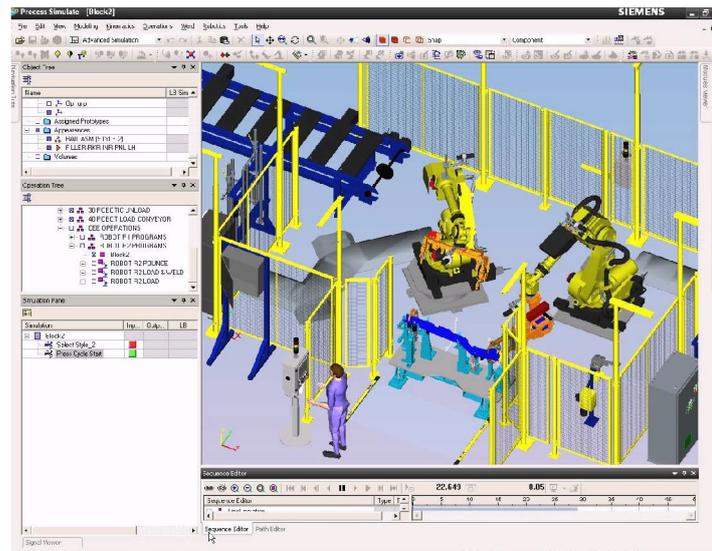


ILUSTRACIÓN 6. INTERFAZ DEL SOFTWARE SIEMENS PLM. FUENTE: SIEMENS ISL, 2017

2.1.5 Siemens PLM

El software de simulación de Siemens está integrado dentro del producto PLM, o gestión de la vida de un producto. Se trata de un sistema integrado, que lleva **simulación, visualización 3D, análisis y otras herramientas** encargadas de crear procesos de productos y sus simulaciones de forma simultánea. Esta herramienta integrada mejora la eficiencia del producto, muestra los beneficios a largo plazo y permite el intercambio de información entre diseño y fabricación.

Estas simulaciones sirven para apoyar soluciones como *Six Sigma* o iniciativas *Lean*. Además, pueden mostrar información de los objetos en 2D o 3D. Para poder intercambiar datos de calidad, se utilizan máquinas de **medición de coordenadas y de control numérico (CMM)**. Estos valores son fácilmente verificables al poder visualizarlos en CAD. Gracias a ello se pueden ejecutar procesos con acceso en tiempo real a datos de ciclo de vida.

La aplicación del software se puede realizar en todos los procesos de la producción consiguiendo un entorno virtual, por ejemplo en estampación, líneas de montaje, centros de trabajo, distribución de instalaciones, ergonomía o recursos. Además, se utiliza en sectores como aeroespacial, automoción, electrónica, soluciones de equipos pesados, marina y salud (Siemens ISL, 2017).

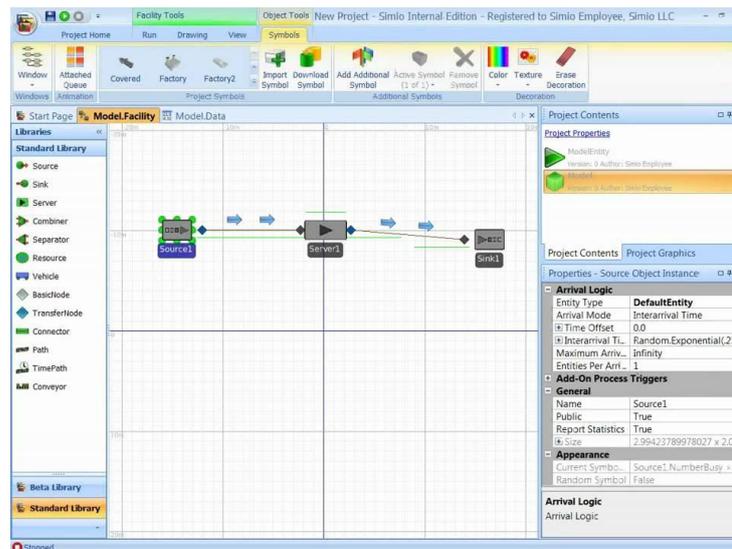


ILUSTRACIÓN 7 INTERFAZ DEL SOFTWARE SIMIO. FUENTE: SIMIO LLC, 2017

2.1.6 Simio

Simio es un simulador creado por la empresa Simio LCC, que fue creada hace más de treinta años en Estados Unidos. Para crearlo, participaron miembros de Arena y otras industrias, y ahora, cuenta con un equipo de desarrolladores propios.

Está basado en la **inteligencia de los objetos**. Ha sido modelado para apoyar el paradigma de éstos, aunque es completamente compatible con sistemas discretos y continuos. Pueden crearse simulaciones que incluyan varios sistemas. Tiene el fin en que, aunque haya objetos iguales en la misma cadena, que cada uno de ellos pueda tener una naturaleza diferente y, por lo tanto, un comportamiento diferente. Con esto consigue, por ejemplo, en aplicaciones de control de personas, como ciudades o aeropuertos, sistemas más reales.

Tiene una gran biblioteca disponible que se puede sincronizar con la biblioteca de objetos de Google (Google Warehouse), por lo que todos los usuarios pueden descargar objetos 3D creados por otros. Además, está disponible en forma de agregable la herramienta OptQuest, que utiliza otros algoritmos y al combinar los dos softwares se consiguen resultados realmente precisos.

Con su **sistema de nube**, se puede ver un proyecto desde cualquier equipo Simio, independientemente de su versión. Su campo de aplicación abarca logística, minería, manufacturación, iniciativas *Lean* y *Six Sigma*, salud, aeropuertos, puertos y aplicaciones militares (Simio LLC, 2017).

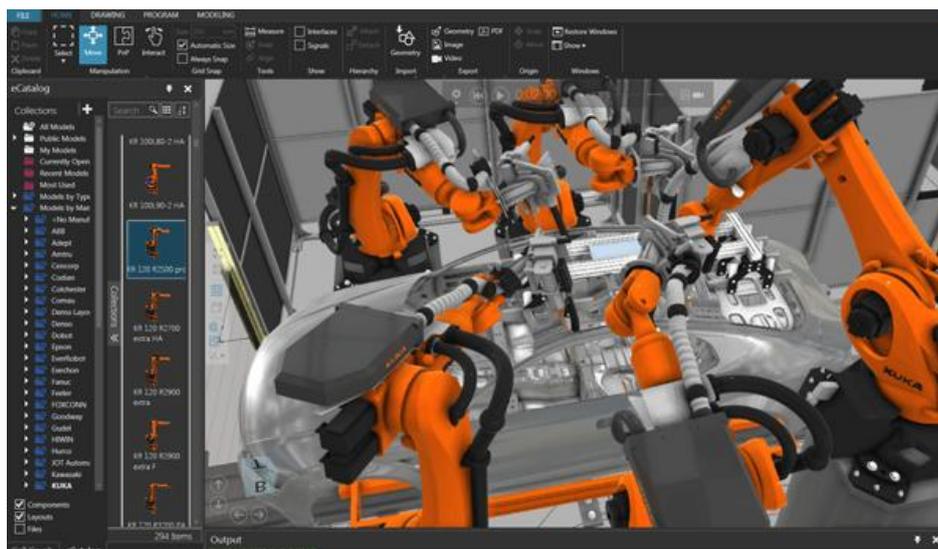


ILUSTRACIÓN 8. INTERFAZ DEL SOFTWARE VISUAL COMPONENTS. FUENTE: VISUAL COMPONENTS, 2017

2.1.7 Visual Components

La empresa Visula Componente ha sido fundada en 1999 y tiene centrados sus esfuerzos en el poder de la visualización de la simulación. Por eso, su software no requiere conocimientos técnicos para su uso, pudiendo ser manejado por todos los usuarios presentes en el proceso del producto. Aunque tiene muchos campos de aplicación, su punto fuerte son las **simulaciones con procesos de robótica** unida a **flujos de material**, donde incluyen diversas variedades de sistemas predefinidos, que luego se pueden amoldar a cada proyecto.

Incluyen una base de datos muy amplia, pudiendo ampliar con elaboraciones propias CAD. Los componentes hechos en el software están realizados en lenguaje .NET, aunque también han desarrollado una compatibilidad con Python, siempre intentando mostrar una interfaz sencilla de manejar y entender.

Con las herramientas de estadísticas, se pueden analizar y validar **controles robóticos y controladores lógicos programables (PLC)**. Tienen un analizador de daños y un modo “rayos X” para encontrar fallos en el proceso de forma rápida. Todas sus áreas de trabajo se centran en los procesos de la industria, aparte del área de robótica, también abarca la digitalización de pequeñas y medianas empresas, sistemas de ventas, validación de controladores y desarrollo de aplicaciones y métodos de ingeniería avanzados (Visual Components, 2017).



ILUSTRACIÓN 9. INTERFAZ DEL SOFTWARE ENTERPRISE DYNAMICS. FUENTE: CREATIVE COMMONS, 2017

2.1.8 Enterprise Dynamics

Este software pertenece a la empresa Incontrol Simulation Solutions, que lleva trabajando en simulación más de 25 años, fundada en 1989 en Estados Unidos. A través de unas pautas iniciales de partida, el software permite la visualización 2D y 3D del proceso. Desde una fase inicial previa a la construcción de la infraestructura, el software permite prevenir errores y posteriores costes en soluciones.

Tiene como campos de aplicación analizar procesos dentro de la industria. Tiene una potente biblioteca de objetos, a la que se le puede añadir objetos propios en CAD, **soluciones de metodología Lean o Six Sigma**, junto con una **interfaz sencilla**, hacen una herramienta fácil de utilizar, no solo por expertos. Pensada para grandes procesos, cuenta con un espacio ilimitado de espacios a simular. Están incluidos procesos como almacenamiento, fabricación, manejo de materiales o cruceros (Incontrol Simulation Solutions, 2017).

Dentro de la misma empresa, existe otro software llamado **“Pedestrian Dynamics”**, que se basa en el control de flujo de peatones. Busca el análisis y la optimización de lugares con gran afluencia de personas para hacer una estimación y conseguir un control y seguridad de la zona. Permite importar objetos y archivos de texto en CAD, BIN y CityGML. Puede crear simulaciones con hasta cien mil personas. Además, ayuda a los usuarios finales a vender espacios comerciales gracias a datos y gráficos sobre el paso de peatones. En su área de aplicación, se engloban estadios, terminales, eventos, espacios y centros comerciales, ciudades e infraestructuras o aviación (Incontrol Simulation Solutions, 2017).

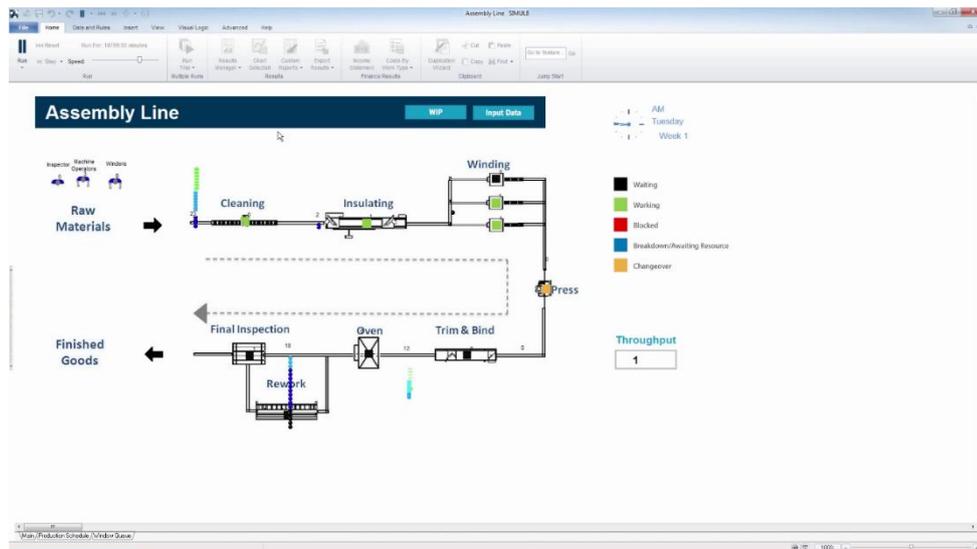


ILUSTRACIÓN 10. INTERFAZ DEL SOFTWARE SIMUL8. FUENTE: SIMUL8 CORPORATION, 2017

2.1.9 Simul8

Se trata de un software desarrollado por la empresa del mismo nombre, fundada en 1994. Intentan crear el software de simulación de una manera sencilla para que pueda ser accesible a usuarios más y menos expertos. Utilizan un lenguaje llamado **“Visual Logic code”**, que ayuda de forma sencilla a diseñar, y además permite importar de otros espacios como C++, Microsoft Excel y Visual Basic. Tiene también la posibilidad de importar objetos desde Google (Google Warehouse).

Proponen una **simulación a gran velocidad**, para poder realizarla en menos tiempo, o bien para realizar simulaciones más grandes. Durante el análisis, se puede conectar con tus datos ya recogidos, para analizar y valorar mejor la simulación. Con el proceso analizado, es fácil detectar los errores y puntos débiles y permite resaltar aquellos datos que sean más del interés del cliente. Cuentan con softwares analíticos como Stat:Fit y OptQuest, para optimizar los resultados. También muestra las simulaciones con una visualización 3D, por lo que se puede afinar en el desarrollo de futuros planes.

En comparación con otros métodos, gracias a la realización de la simulación, el usuario tiene que seleccionar todos los aspectos del proceso, por lo que no quedará nada al azar. Su software es utilizado en áreas como salud, automoción, fabricación, “call center”, logística, justicia, etc. (Simul8 Corporation, 2017).

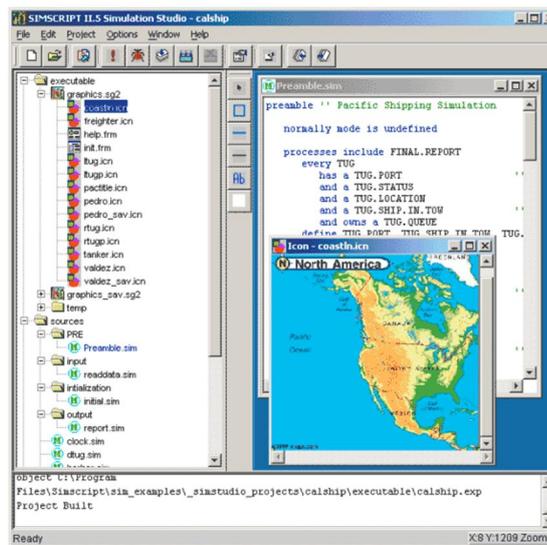


ILUSTRACIÓN 11. INTERFAZ DEL SOFTWARE SIMSCRIPT III. FUENTE: CACI, 2017

2.1.10 Simscript III

Originalmente Simscript fue un **lenguaje de programación libre**, después comprado por el Centro de Análisis de California (CACI), después llamado Centro de Análisis Consolidado, y transformado en un software de simulación de eventos basado en objetos. Por ello, se ha reducido el tiempo de desarrollo del software. Además, es compatible con los lenguajes C++ y Java. Está desarrollado para que su uso sea fácil e intuitivo.

Tiene una amplia biblioteca de objetos disponible desde CACI, que se ha creado por expertos de modelado. Los procesos se pueden **visualizar y modificar en 2D y visualizar en 3D**. Cuenta con un apartado para la simulación en aplicaciones bélicas y militares para simular efectos, previniendo lo que pueda ocurrir. Es posible decidir que eventos del proceso simular ya que, si va a ser muy grande, el software tiene un límite virtual que no se podrá sobrepasar.

Contiene otras herramientas específicas para el desarrollo de simulaciones en el transporte, puertos y aeropuertos. Además, también es válido en campos como la salud y las telecomunicaciones (CACI, 2017).

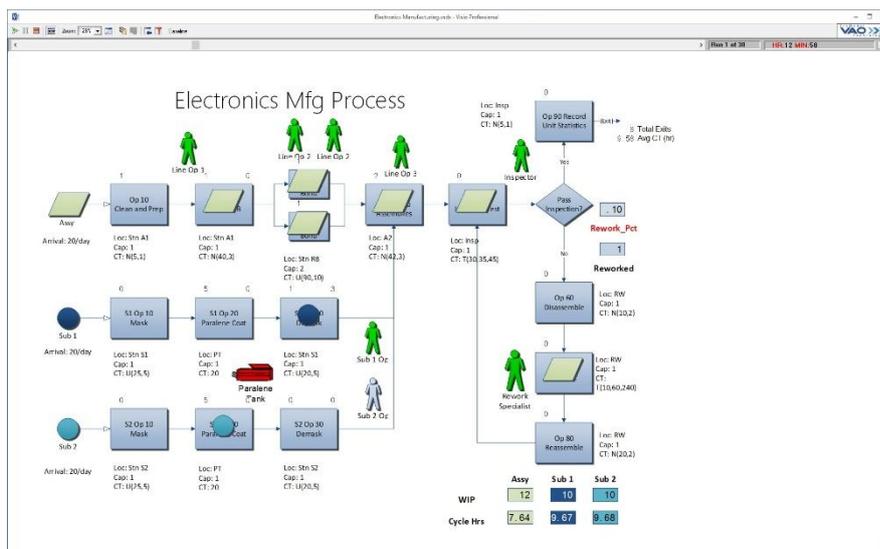


ILUSTRACIÓN 12. INTERFAZ DEL SOFTWARE PROMODEL. FUENTE: PROMODEL CORPORATION, 2017

2.1.11 Promodel

Este software ha sido diseñado por Promodel Corporation, realiza la **simulación y optimización de forma plenamente integrada**. Tiene una interfaz sencilla, aunque tiene diferentes ajustes, para profesionales de la programación. Para funcionar, utiliza una plataforma Windows. Se puede crear el proceso en el propio software, o bien se puede importar en Excel o CSV. Una vez realizado el proceso, se puede visualizar la solución en 3D. Junto a esto, tiene una buena interfaz de resultado con un amplio rango de estadísticas y gráficos para comprender las soluciones.

Dentro de la amplia biblioteca que dispone, también se pueden añadir diseños desde cualquier herramienta CAD, CAE, o simplemente fotografías digitales. Incluye también la herramienta Stat:Fit, que incorpora **actividades de comportamiento aleatorio y SimRunner**, que ayuda a optimizar la solución de un proceso.

Estima resultados para aplicaciones *Lean* y *Six Sigma*, atendiendo a la mejora continua de procesos. Además, es usado en campos como aeroespacial, defensa, gobierno, salud, fabricación, farmacia, servicios o logística (Promodel Corporation, 2017).

Lograr el objetivo de la fabricación sostenible requiere métodos y herramientas para modelar, **simular y predecir el comportamiento de los procesos productivos** incluyendo los materiales procesados, recursos, sistemas y fábricas durante su ciclo de vida. Los métodos y herramientas de modelización, simulación y pronóstico para la fabricación pueden tener impacto en toda la jerarquía de la fábrica. En el nivel bajo de la jerarquía, los métodos y herramientas pueden mejorar el diseño y la gestión de la maquinaria de producción y los procesos para apoyar la fabricación avanzada y sostenible. Se requieren métodos y herramientas para diseñar y gestionar sistemas de producción cada vez más complejos. Por último, en el nivel más alto de la jerarquía, el modelado y la previsión son necesarios para apoyar las decisiones estratégicas a largo plazo. En la Tabla 1 recoge las principales características de los softwares mencionados.

SOFTWARE	SECTOR DE APLICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	WEB
AnyLogic	Aeronáutico Automoción Energías Renovables Metalmecánico Militar y Gobierno Naval Telecomunicaciones	Entorno Java Método de Montecarlo Modelización 2D Simulación basada en agentes	www.anylogic.com
Arena Simulation	Aeronáutico Agroalimentación Automoción Militar y Gobierno Minería Metalmecánico Naval Salud Textil	Análisis estadístico Biblioteca con bloques predefinidos Lenguaje SIMAN Visualización 2D y 3D	www.arenasimulation.com
FlexSim	Metalmecánico Minería Naval	Entorno gráfico 3D Fácil Utilización Importación de archivos CAD Lenguaje C++	www.flexsim.com
Enterprise Dynamics	Automoción Metalmecánico	Arquitectura abierta Importación de modelos Número ilimitado de objetos Visualización 2D y 3D	www.incontrolsim.com
IndustrySim	Fabricación	Entorno gráfico 3D Fácil utilización Importación de archivos CAD Simulación de juego	www.industrysim.com
ProModel	Aeronáutico Agroalimentación Metalmecánico Minería Naval	Fácil utilización Gráficas 3D Importación desde AutoCAD y otros CAD Integración con Excel, Lotus, Visual Basic	www.promodel.com

SOFTWARE	SECTOR DE APLICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	WEB
Siemens PLM	Automoción Metalmecánico	Ciclo de vida del producto Entorno gráfico 3D Generación base CAD	www.plm.automation.siemens.com
Simio	Aeronáutico Agroalimentación Automoción Militar y Gobierno Naval Salud	Acceso a biblioteca en Google Modificación en tiempo real Simulación 3D Simulación de objetos	www.simio.com
SIMSCRIPT III	Fabricación Militar y Gobierno	Compatible con C++ y Java Fácil utilización Lenguaje Simscript Visualización 2D y 3D	www.simscrip.com
Simul8	Aeronáutico Energías Renovables Minería	Acceso a biblioteca en Google Importar lenguaje C++, Excel, Visual Basic Lenguaje Visual Logic Code Visualización 2D y 3D	www.simul8.com
Visual components	Metalmecánico Robótica	Desarrollo y compatibilidad CAD Diseño en .NET y Python Visualización 3D	www.visualcomponents.com

TABLA 1. RESUMEN DE SOFTWARES EMPLEADOS PARA LA MODELIZACIÓN, SIMULACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS

2.2 PROYECTOS

En la actualidad, existen softwares de desarrollo europeo que, o bien están en desarrollo o ya están en el mercado. Se tratan de softwares que ha fundado la Unión Europea y en el que participan diversas empresas de varios países de Europa. Se recogen dentro de un plan llamado **Fábricas del Futuro PPP (Acociación Público-Privada)**. El principal objetivo de la Unión es poder crear una industria solvente en el futuro, con un horizonte en 2020, para que otros países no debiliten las empresas internas y por tanto el descenso de puestos de trabajo, por lo tanto, poder disponer de software *homemade* sería una gran ventaja antes que disponer de mercados extranjeros (European Commission, 2017).

Respecto a la simulación, estos algunos de los proyectos que se están desarrollando:

FORTISSIMO

Está coordinado por la Universidad de Edimburgo y compuesto de 123 socios. Creado en 2013, tiene como objetivo hacer llegar la simulación y modelización a las pequeñas y medianas empresas (PYMES). No tiene un sector especializado en concreto, por lo que intenta dar soluciones a un amplio rango de compañías (Fortissimo, 2017).

BEINCPSS

Coordinado por una empresa italiana, engloba 23 socios de ocho países diferentes. Están centrados en diseñar una gran plataforma que englobe varios sistemas de desarrollo tecnológico y consigan llegar a aplicaciones TIC. El software va dirigido a PYMES, y cuenta con tres pilares básicos: conseguir un software sencillo, tener a disposición del cliente métodos de entrenamiento y ser puntero tecnológicamente (Beincpps, 2017).

COSSIM

Ha sido creado para poder crear un diseño de simulación (diseñadores CPS) sencillo y totalmente integrado. Buscan separar simulaciones por orden de magnitud para acelerar el tiempo, y poder darle al cliente apoyo y seguridad de creación. Intentan que la estimación de CPS sea un 50% más precisa que con las soluciones existentes (Cossim, 2017).

PATHFINDER

Forman el proyecto 7 socios de cinco países diferentes. Creado en 2008, busca integrar una solución en la que se engloben tecnologías de simulación y predicción, para crear una red de expertos y conseguir que llegue la tecnología de la simulación a la industria manufacturera (Pathfinder, 2017).

3. APLICACIONES POR SECTOR

A continuación se realizará una revisión de ejemplos de aplicación de simulación en cada uno de los sectores.

3.1 SECTOR AGROALIMENTACIÓN Y BIO

La simulación de procesos en la industria agroalimentaria tiene cada vez mayor importancia, ya que es un sector afectado por la economía, y este tipo de técnicas ayudan a mejorar su eficiencia en el proceso. Actualmente, se busca la simulación en dos áreas pertenecientes a esta industria: el área industrial, donde se engloban todos los procesos del sector secundario donde los productos son tratados hasta su puesta a la venta, y el área de venta, donde se engloban procesos como el transporte de productos y espacios comerciales para su venta.

Respecto a la etapa industrial, los softwares de simulación son utilizados bien cuando se quiere implementar una nueva etapa o un nuevo proceso en el sistema actual, o bien cuando se decide realizar un estudio para mejorar el rendimiento de una planta. Softwares como **Arena, Simio y Promodel** ya han sido utilizados en este tipo de funciones, como por ejemplo, implementar otra línea de producción en la industria panadera (Mejía Avila Heidy, 2008) u optimizar una línea de producción existente (Bassan, 2015).

En la etapa de logística, es también necesaria la optimización de líneas y transportes, ya que mejorando su rendimiento se puede conseguir ahorrar dinero y pérdidas de productos. Se han realizado simulaciones para mejorar la logística de productos perecederos (Malekpour, 2016) y otros sobre optimización de rutas (Achkar, 2016) en **Arena y Simio**.

3.2 SECTOR AUTOMOCIÓN

En el sector de la automoción, el diseño por simulación está ampliamente extendido. Gracias a la tecnología, se permite mejorar la eficiencia y calidad del proceso y de los productos. Aunque aún queda camino por recorrer, ya que a día de hoy cada proveedor monta y testea sus productos por separado, para luego volver a desmontarlos y enviarlos a la planta para acoplarlos al vehículo. Se busca una copia fidedigna de la planta física, donde se pueda validar el sistema completo.

Actualmente, los procesos de modelización y simulación llevados a cabo en torno a cuatro aplicaciones, como son la simulación de planta (permite diseñar un nuevo sistema de producción, reconfigurar uno existente y visualizar en un entorno 3D el flujo de material), virtual commissioning (durante la fase de diseño se puede verificar la lógica de control), plataformas de integración (integrar todos los sistemas para explorar las sinergias entre ellos, automatizando procesos y eliminando errores) y balanceo de la línea de producción (ajustar la línea de producción teniendo en cuenta los trabajadores y su ergonomía).

Existen softwares que engloban todas las aplicaciones en lo que es llamado la gestión del ciclo de vida del producto (Product Lifecycle Management, PLM). Grandes compañías están implementando este recurso, ya que el resultado final permite una sencilla visualización 3D. Por ejemplo, este modelo PLM lo tiene implementado el software de **Siemens**. Otros softwares utilizados en simulación de procesos y modelado en el sector de la automoción son **Arena, Simio o Flexsim** (CTAG, 2017).

Otra aplicación relacionada con la automoción es el control de tráfico llevado a cabo por una ciudad. Sirve para simular el tráfico en ciertos puntos, para poder visualizar cuellos de botella y así poder optimizarlos.

Se han utilizado softwares como **Anylogic o Arena** para poder medir estos flujos de automóviles (Blagov, 2015).

3.3 SECTOR MADERA/FORESTAL

Las decisiones en el sector de productos forestales tienen impactos económicos, ambientales y sociales e involucran a múltiples partes interesadas. Las complejidades y variaciones en el sector, como las interacciones de los equipos y las estacionalidades, hacen que la simulación de eventos discretos sea una herramienta atractiva de apoyo a las decisiones. Se ha utilizado para comparar sistemas de cultivo, evaluar los impactos de las interacciones entre máquinas en el bosque y en las fábricas, realizar análisis de cuello de botella, determinar la viabilidad de los reemplazos de maquinaria, evaluar los métodos de transporte de troncos y analizar las cadenas de suministro de biocombustibles (Opacic & Sowlati, 2017).

Numerosos paquetes de software para eventos discretos simulación están disponibles, ambos muy especializados unos para una parte específica de la cadena de suministro, y en general unos con una alta funcionalidad en el modelado y visualización de las cadenas de suministro (Kelton, Sadowski, & Sadowski, 2002).

Los modelos de eventos discretos se han utilizado para modelar la cadena de suministro en la industria de productos forestales (Lonnstedt, 1986) (Randhawa, Brunner, Funck, & Zhang, 1994). Mientras muchos de estos estudios se centran en etapas individuales de producción y distribución, algunos han incluido la totalidad cadena de suministro. Por ejemplo, Lonnstedt (Lonnstedt, 1986) simuló el sector forestal en Suecia para estudiar la dinámica del costo competitividad a largo plazo y política sugerida cambios, tales como la reducción de impuestos o la tasa de interés para aumentar inversión en la industria. Randhawa et al. (Randhawa, Brunner, Funck, & Zhang, 1994) desarrolló un entorno de simulación orientado a objetos de eventos discretos que podría usarse para modelar aserraderos con varias configuraciones. Baesler et al. (Baesler, Araya, Ramis, & Sepulveda, 2004) utilizaron simulaciones para identificar cuellos de botella y factores que afectan la productividad (número de troncos por día) en un aserradero chileno, y concluyó que existe un potencial para un aumento del 25% en la producción.

3.4 SECTOR NAVAL

El sector naval tiene cada vez más la necesidad de conseguir simular sus procesos para poder hacerlos más eficientes y competitivos. En esta industria, existen dos áreas bien diferenciadas donde se realizan simulaciones y modelizaciones con el fin de optimizar sus procesos. La primera, y más importante, se centra en la zona portuaria, donde confluyen todas las mercancías y es importante controlar cada proceso. La segunda área se centra en la logística de distribución, con la finalidad de mejorar rutas marítimas en esos procesos.

En las zonas portuarias, los softwares de simulación se utilizan para controlar y mejorar el movimiento de contenedores, las cadenas de suministros y el flujo de personas. Existen estudios sobre la forma de mover buques de mercancía dentro del puerto realizados con **Simio** (Pascual, 2016). Encontramos ejemplos de la optimización de la capacidad de operación de puertos para buscar vías de optimización, realizados con **Arena** (Netto, 2016) y control y visualización del movimiento de contenedores de carga con **Flexsim** (Benghalia, 2012). Con este mismo software también se han realizado estudios sobre la optimización de

las metodologías implantadas en astilleros, ya que varían dependiendo del tipo de barco a construir o reparar (Burnett, 2008).

En temas relacionados con el transporte, también se han realizado estudios de proceso con simulación de eventos discretos. En esta área, softwares como **Anylogic** y **Promodel** han conseguido optimizar, por ejemplo, los tiempos de carga y salida de buques en zonas de mucho tráfico (Kondratyev, 2015) o las cadenas de suministros internas en el puerto que se ven envueltas con las llegadas y partidas de los barcos, para analizar cuáles serían los factores clave de mejora (Guerrero Hernández, 2014).

3.5 SECTOR METALMECÁNICO

Es el sector idóneo para trabajar con softwares de simulación. Con la tecnología, se ha conseguido reproducir los procesos realizados por todas las máquinas, herramientas, y personas; para poder tener una perfecta visualización de ellos. Entre otras operaciones, la simulación permite el diseño y optimización de *lay-outs*, optimización de la producción (*lean manufacturing*), simulación de diversas estrategias de control de la producción, modelización de elementos de manipulación (como robots o grúas), modelización de averías en maquinaria, secuencias, modelización de cambios de herramienta y otras semiparadas, modelización del mantenimiento correctivo y preventivo y dimensionamiento de personas para operar en línea (Ricondo, 2013).

Todos los softwares mencionados en el apartado anterior tienen referencias de estudios en este sector, pero parte de ellos están más especializados en ciertas operaciones arriba mencionadas. **Visual Components** se especializa en robots, consiguiendo simular con precisión los tiempos y periodos de mantenimiento. Con **Flexsim** y **Promodel** se han realizado estudios sobre el flujo de personas y simulación de movimientos en la línea de producción, permitiendo optimizar sus tiempos (De Macedo Guimaraes, 2015).

La optimización de la producción a través de *lean manufacturing* también se ha llevado a cabo en las líneas de producción, por ejemplo, con **Arena**, **Anylogic**, **Siemens** o **Enterprise Dynamics**. Cuando un proceso es demasiado complejo, optimizarlo gracias a una de estas herramientas es una gran ayuda para poder visualizarlo perfectamente (Rane, 2017). También se han desarrollado en estos softwares políticas de mantenimiento en la etapa de fabricación gracias a simular los procesos (Renna, 2016).

Un estudio realizado con **Flexsim** ha permitido realizar la simulación y modelización del proceso de producción de hierro y acero. En grandes plantas contar con todas las características para el funcionamiento de estos procesos es complejo, pero en la simulación se visualizarán fácilmente. No solo eso, sino que también se podrán probar diferentes combinaciones sin que conlleve una pérdida económica (Yao, 2010).

3.6 SECTOR TEXTIL/MODA

Desde una perspectiva TIC existen múltiples soluciones para la mejora de las operaciones internas de la empresa (ERP, sistemas de información, sistemas de gestión, workflow...), para la mejora de las operaciones externas (CRM, SCM, web corporativa, tienda online, marketplace...), para mejorar los procesos productivos (reproducción real de colores por pantalla, CAD, diseño de patronaje, impresión

digital, escáner 3D, simulación de prendas 3D, almacenes automatizados, simulación virtual de escaparatismo, sistema de corte por láser asistido por vídeo, PDM/PLM...).

La simulación de prendas en tres dimensiones permite desarrollar el diseño de nuevas colecciones y simular cómo sienta la nueva pieza de vestir de manera virtual. Esto permite explotar aún más la flexibilidad de este mercado, permitiendo comprobar prendas a través de métodos prueba-error sin elevados costes económicos (Acaccia, 2002).

La simulación virtual de escaparatismo permite simular una colección en un punto de venta virtual en tres dimensiones de forma ilimitada lo que permite definir y pasar pedidos perfectamente adaptados a los diferentes canales de distribución. Para ello, se han desarrollado estudios de ciertos softwares que no entraron en este informe que estudian el ciclo de vida de la ropa en conjunto para ganar versatilidad en el mercado (Thomassey, 2010). Ello facilita el aumento de la rentabilidad de los espacios de venta, la optimización en la gestión de los pedidos y una mejora de la organización de la empresa. Un informe en el software **Arena** explica la distribución lógica de las bobinas de hilo en una cadena de producción de prendas de ropa, para evaluar comparar como varía el proceso sustituyendo partes realizadas de manera manual a automática, para obtener un resultado sobre el ahorro de tiempo y dinero (Brahmadeep, 2014).

3.7 SECTOR AERONÁUTICO

Existen múltiples aplicaciones en esta industria para los que los softwares de simulación y modelización son usados. Es uno de los sectores en los que el factor económico es realmente crítico, ya que las cifras son realmente altas. Además, existe un riesgo sobre la seguridad de las personas. Las dos grandes áreas del sector aeronáutico son la industria relacionada con el transporte por aire, y la industria relacionada con el espacio. Esta última es, a la par que costosa, extremadamente complicada para analizar su comportamiento futuro, por lo que se necesitan softwares que garanticen lo mejor posible la exactitud.

En concreto, la simulación de eventos discretos se utiliza en la industria aeroespacial para analizar y garantizar los suministros en la nave. Un estudio realizado con el software **Arena** trata de simular el flujo de gases imprescindibles durante la etapa de despegue para que la nave pueda salir de la atmósfera (Leonard, 2015). Con **Simul8** se ha elaborado un estudio sobre la optimización de recursos, donde indica la forma de trabajar de la planta principal e informa del sistema a los proveedores. Este estudio viene como resultado de la falta de conformidad entre ellos (Mathew, 2007).

Este tipo de software es más utilizado en aeropuertos, ya que tiene más diversidad de aplicaciones. Respecto a los peatones, existen estudios para evaluar el flujo de personas en una nueva terminal, y compararlo con el actual para ver las mejoras. Este estudio fue hecho con **Promodel** (Novrisal, 2015). También se han realizado estudios con flujo de personas para saber que decisiones tomar en temas de seguridad con **Anylogic** (Jackiva, 2015). También hay softwares que han realizado estudios sobre la optimización de las zonas de mercancías en los almacenes de los aeropuertos como **Simio** o **Arena** y soluciones para mejorar las decisiones sobre logística de transportes al realizar modelos prueba-error también con **Simio** (Graunke, 2016).

3.8 SECTOR ENERGÍAS RENOVABLES

El sector de las energías renovables, aunque menos que otros, tiene una gran parte de procesos de fabricación en plantas, por eso que también está sujeto a simulación. Es un sector al alza, donde cada vez se destinan más recursos para su desarrollo, por lo que conseguir una buena optimización de los procesos es fundamental. Las áreas que abarca la simulación de procesos en el campo de las energías renovables son, la ya mencionada área de planta, donde se lleva a cabo su fabricación (donde se realizan para mejorar procesos, o implementar otros de forma eficiente), y otra área de optimización para su colocación en campo.

Como ejemplo de optimizar la colocación en campo, de la mano de un proyecto de construcción de un parque eólico *onshore* se ha elaborado un trabajo de simulación de la zona con el software **Anylogic**. Ha sido necesario primero conseguir un mapeado de la zona con los datos necesarios, pero, gracias al resultado, ha sido posible la visualización de todo el proyecto antes de su ejecución, donde se incluía, no solo la posición de los aerogeneradores, sino que también el mapa de nuevos caminos, canalizaciones y cableado, además de conseguir una reducción del tiempo de ejecución del proyecto (Zankoul, 2014).

Otro estudio realizado con **Simul8** simuló, con una aplicación basada en eventos discretos y modelo de agentes, turbinas eólicas *offshore* en un ambiente marino para descubrir fallos y poder optimizarlas antes de su fabricación y colocación. Además, gracias a la simulación, se pudieron establecer los periodos de mantenimiento y operación (Mustafee, 2015).

3.9 SECTOR PIEDRA NATURAL

La simulación por eventos discretos es una herramienta que se aplica en el campo de la ingeniería de minas para la evaluación del desempeño de sistemas mineros complejos, tanto en minas a cielo abierto como subterráneas. Estos sistemas no se limitan meramente a la evaluación de la producción en sistemas manejo de materiales, sino que también integran la coexistencia de los desarrollos, preparación y producción de sistemas mineros (Manríquez, 2016).

En el caso de sistemas mineros de manejo de materiales, esta técnica permite la evaluación explícita de las pérdidas operacionales de equipos, tales como esperas por equipo de carguío por parte de camiones mineros, espera por camiones por parte de equipos de carga e interferencias en ruta entre camiones, tanto en ruta como en intersecciones. El uso de **Flexsim**, **Promodel** en este tipo de aplicaciones ya ha sido estudiado, por ejemplo la optimización de entrada de camiones a la mina y desarrollo de las vías de entrada de los vagones de mercancías (Nageshwaraniyer, 2015). Lo anterior es de particular importancia al evaluar el desempeño de ciertos modelos de camiones mineros autónomos en la minería a cielo abierto, ya que estos poseen una burbuja de seguridad, dentro de la cual cualquier camión que ingrese ve disminuida su velocidad. Debido a este tipo de interferencias en ruta, entre camiones que viajan en distintos sentidos, se hace complejo estimar los tiempos de ciclo mediante el enfoque clásico, que se basa en fórmulas analíticas.

Otro tipo de aplicaciones que es capaz de resolver la simulación de eventos discretos son, por ejemplo, la optimización del proceso de partir y almacenar la roca, el mantenimiento de maquinaria y de la ordenación de la mina. Softwares con los que ya se han elaborados estudios de estas aplicaciones son **Arena**, **Simul8**, **Flesim** y **Promodel**.

4. CONCLUSIONES/IMPACTO EN LA INDUSTRIA

4.1 PRINCIPALES RETOS

La modelización, simulación y virtualización puede proporcionar un medio muy eficaz para evaluar el diseño de un nuevo proceso de fabricación o modificaciones propuestas a procesos existentes. Aunque los beneficios potenciales de las simulaciones de fabricación son significativos, todavía existen retos que hacen que estos softwares necesiten más trabajo de investigación. El desarrollo de simulaciones individuales sigue siendo más un arte que una ciencia. Esto es, hace falta confeccionar nuevos estándares en los procesos de simulación y modelización.

El principal estándar que hay que establecer es la **metodología**. Actualmente, se desenvuelven estudios para analizar y mejorar la eficiencia y eficacia de organizaciones, sistemas y procesos de fabricación. Cada estudio realiza una composición de las operaciones actuales y modela nuevas hipotéticas. Según los manuales de simulaciones, este proceso que hay que realizar lleva una serie de pasos, que conllevan un trabajo considerable. Por ello, aunque cada proyecto es único, es necesario comparar cada paso realizado, ya que muchos podrían seguir los mismos patrones.

Otro problema es la **opacidad** con la que trabajan las empresas. Sus simulaciones nunca van a convertirse en públicas, por lo que hacer una metodología estándar se antoja casi imposible. La solución a este problema será construir una serie de plantillas con las que todas las empresas puedan trabajar. Crear bloques de construcción únicos en cada empresa e incorporarlos a las plantillas prediseñadas, con el fin de ahorrar costes económicos y pérdidas de tiempo innecesarias.

Otra prioridad será **crear modelos estándar** para almacenarlos en bibliotecas fácilmente accesibles por los desarrolladores de simulación. Estos formatos de modelos neutrales ayudarían a ampliar el mercado de modelos y hacer la simulación más viable. A su vez, esas librerías podrían entrar al mercado y poder venderse igual que a día de hoy se venden paquetes de imágenes para los software gráficos.

Por último, **deberían desarrollarse interfaces de datos** estándar, que sean neutrales e independientes del proveedor para almacenarlos y que otros usuarios puedan adquirirlos, lo que mejoraría la accesibilidad a la tecnología de simulación. Estos datos también servirían para el desarrollo de más modelos reutilizables y datos de referencia entre empresas, proveedores, fabricantes y consultores. Por último, también beneficiarían a mejorar la sostenibilidad al crear datos de referencia de los procesos, como consumo de energía, satisfacción laboral, etc (McLean, 2009).

4.2 PERSPECTIVA A MEDIO Y LARGO PLAZO

Frente a estos retos que se acaban de mencionar, se tendrá que repensar muchas áreas de los sistemas de producción industrial e **implementar numerosas transformaciones** (Sentryo, 2017):

- Lanzar un despliegue generalizado de tecnología digital de diferentes áreas, desde Internet hasta sistemas integrados.
- Hacer avances en los modelos de organización del trabajo y reconciliar empleos y desarrolladores.
- Desarrollar la capacidad de las máquinas para adaptarse a las necesidades de producción con una integración más amplia en el sistema de producción mediante la integración de seres humanos en estos sistemas.

- Ampliar el alcance del ciclo de producción para incluir nuevos procesos, como el reciclaje y la gestión de recursos.
- Implementar un principio para ayudar a las acciones e intervenciones realizadas por los seres humanos en el sistema, ya sea durante la fase de concepción del producto (con virtualización e inmersión) o durante la producción, mediante el seguimiento y la orientación de las acciones para que se realicen con moderación e integrando el conocimiento y la retroalimentación en el sistema de producción.
- Hacer avances en robótica.

Muchos de los avances en tecnología que forman la base para la Industria 4.0 ya se utilizan en la fabricación, pero con la Industria 4.0, transformarán la producción: **células aisladas y optimizadas se unirán como un flujo de producción totalmente integrado, automatizado y optimizado**. A una mayor eficiencia van a cambiar las relaciones tradicionales de producción entre proveedores, productores y clientes, así como entre humanos y máquinas (The Boston Consulting Group, 2017).

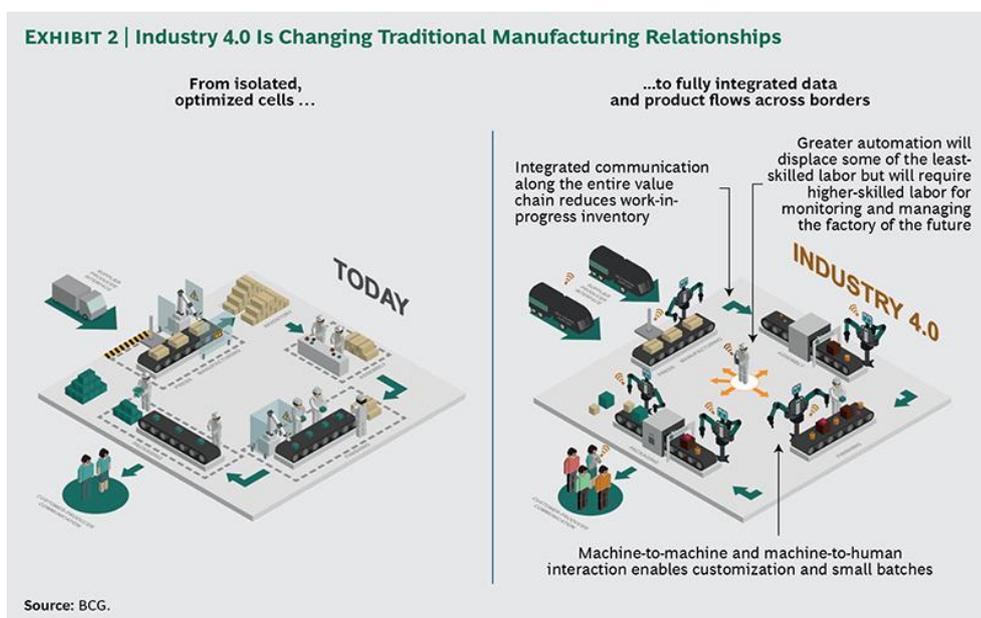


ILUSTRACIÓN 13. ILUSTRACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA INDUSTRIA 4.0. FUENTE: THE BOSTON CONSULTING GROUP, 2017

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acaccia, G. C. (2002). Computer simulation aids for the intelligent manufacture of quality clothing. *Computers in Industry*, 71-84.
- Achkar, V. B. (2016). *A simulation-based tool to support decision-making in logistic design of a cans packaging line*. Larnaca, Cyprus: 28th European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2016.
- Bassan, N. C. (2015). *Optimizing the design and operation of a beer packaging line through an advanced simio-based des tool*. Santa Fe, Argentina: INTEC (UNL-CONICET).
- Beincpps. (4 de Abril de 2017). *Business Experiments in Cyber-Physical Production Systems*. Obtenido de <http://www.beincpps.eu/>
- Benghalia, A. B. (2012). *Simulation of the passage of containers through le havre seaport*.
- Blagov, A. (2015). Modeling a jitter in telecommunication data networks for studying adequacy of traffic patterns. *Modern Applied Science*, 254-263.
- Brahmadeep, S. T. (2014). A simulation based comparison: Manual and automatic distribution setup in a textile yarn rewinding unit of a yarn dyeing factory. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 80-90.
- Burnett, G. M. (2008). *Automating the development of shipyard manufacturing models*.
- CACI. (24 de Marzo de 2017). *Simscrip. Modeling and simulation tools*. Obtenido de <http://www.simscrip.com/>
- Cossim. (4 de Abril de 2017). *CPS Simulator Framework*. Obtenido de <http://www.cossim.org/>
- Creative Commons. (30 de Marzo de 2017). Obtenido de <https://creativecommons.org/>
- CTAG. (2017). *Estado del arte: Simulación y virtualización de procesos*.
- De Macedo Guimaraes, L. S. (2015). *Humanizing labor resource in a discrete event manufacturing simulation software*.
- European Commission. (3 de Abril de 2017). *Factories of the Future*. Obtenido de http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/factories-of-the-future_en.html
- FlexSim. (23 de Marzo de 2017). *FlexSim, problem solved*. Obtenido de <https://www.flexsim.com/>
- Fortissimo. (4 de Abril de 2017). *Solutions and services for manufacturing SMEs to help grow your business*. Obtenido de <https://www.fortissimo-project.eu/>
- Graunke, A. B. (2016). Decision support model to evaluate complex overhead crane schedules. *Winter Simulation Conference*, (págs. 1608-1619).
- Guerrero Hernández, M. H. (2014). *Discrete event simulation of the commodities' supply chain exportation*.
- Incontrol Simulation Solutions. (23 de Marzo de 2017). *Enterprise Dynamics*. Obtenido de <http://www.incontrolsim.com/product/enterprise-dynamics/>

- Incontrol Simulation Solutions. (23 de Marzo de 2017). *Pedestrian Dynamics*. Obtenido de <http://www.incontrolsim.com/product/pedestrian-dynamics/>
- IndustrySim Ltd. (23 de Marzo de 2017). *Gamifying the manufacturing industry for commerce, education and entertainment*. Obtenido de <http://www.industrysim.com/>
- Jackiva, I. S. (2015). Passenger Terminal Safety: Simulation Modelling as Decision Support Tool . *Procedia Engineering*, (págs. 459-468). Vilnius.
- Kondratyev, M. (2015). *An object-oriented approach to port activity Simulation*. San Petesburgo.
- Kroese, D. P., Taimre, T., & Botev, Z. (20 de Septiembre de 2011). *Handbook of Monte Carlo Methods*. Obtenido de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118014967.ch7/pdf>
- Leonard, D. P. (2015). Using discrete event simulation to model fluid commodity use by the space launch system. *Winter Simulation Conference*, (págs. 2954-2965).
- Malekpour, H. S. (2016). *Using discrete-event simulation and the Taguchi method for optimising the production rate of network failure-prone manufacturing systems with perishable goods*. International Journal of Services and Operations Management.
- Manríquez, F. (13 de Septiembre de 2016). *Delphos, Laboratorio de planificación minera*. Obtenido de <http://delphoslab.cl/index.php/blogs/76-simulacion-de-eventos-discretos-como-herramientas-para-la-evaluacion-de-sistemas-mineros-complejos>
- Mathew, S. F. (2007). System thinking using an aerospace production planning and control modelling process. *4th International Conference on Responsive Manufacturing*. Nottingham, UK.
- McLean, C. (2009). Manufacturing Simulation: The Need for Standard Methodologies, Models, and Data Interfaces. *National Workshop on Challenges to Innovation Advanced Manufacturing*, (págs. 8-9).
- Mejía Avila Heidy, G. V. (2008). *Aplicación de software de simulación como herramienta en el rediseño de plantas de producción en empresas del sector de alimentos*.
- Mustafee, N. S. (2015). *An application of distributed simulation for hybrid modeling of offshore wind farms*.
- Nageshwaraniyer, S. K. (2015). Optimal blast design using a discrete-event simulation model in a hard-rock mine. *Mining Engineering*, 47-53.
- Netto, J. B. (2016). *Analysis of capacity associated to levels of service at port terminals using systemic approach and simulation of discrete events*.
- Novrisal, D. W. (2015). Simulation of new system departure terminal Soekarno-Hatta International Airport. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, (págs. 404-408). Selangor.
- Opttek. (23 de Marzo de 2017). *Optquest. The world's leading simulation optimization engine*. Obtenido de <http://www.opttek.com/products/optquest/>
- Pascual, J. A.-R. (2016). *Empty container stacking operations: Case study of an empty container depot in Valparaíso Chile*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

- Pathfinder. (4 de Abril de 2017). *The PATHFINDER Project - Pointing the way to the future of manufacturing*. Obtenido de <http://www.pathfinderproject.eu/>
- Planet Together. (30 de Marzo de 2017). *Designed by Business on Market St*. Obtenido de www.planettogether.com
- Promodel Corporation. (29 de Marzo de 2017). *Better Decisions Faster*. Obtenido de <https://www.promodel.com/>
- Rane, A. S. (2017). Improving performance of lock assembly line using lean and simulation approach. *International Journal of Business Performance Management*, 101-124.
- Renna, P. (2016). Maintenance policy in job-shop manufacturing systems with reminder cell. *International Journal of Services and Operations Management*, 459-483.
- Ricondo, I. (16 de Mayo de 2013). *La simulación como herramienta de valor en entornos de producción ajustada*. Obtenido de Interempresas: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/109390-La-simulacion-como-herramienta-de-valor-en-entornos-de-produccion-ajustada.html>
- Robinson, S. (2005). Discrete-event simulation: from the pioneers to the. *Journal of the Operational Research Society*, 619-629.
- Rockwell Automation. (22 de Marzo de 2017). *Arena Simulation Software*. Obtenido de <https://www.arenasimulation.com/>
- Rosete, A. (Febrero de 2017). *Unidad 1. Introducción a la Simulación de Eventos Discretos*. Obtenido de http://alexrosete.orgfree.com/materiales_2004/06-Simulacion/Manual_Asignatura-Simulacion_a.pdf
- Sentryo. (16 de Febrero de 2017). *New Production Technology For Industry 4.0*. Obtenido de <https://www.sentryo.net/new-production-technology-industry-4-0/>
- Siemens ISL. (23 de Marzo de 2017). *Digital Manufacturing. Define, Optimize and Manage the Manufacturing Process*. Obtenido de http://www.plm.automation.siemens.com/en_gb/plm/digital-manufacturing.shtml
- Simio LLC. (23 de Marzo de 2017). *Simio. Forward thinking*. Obtenido de <http://www.simio.com/index.php>
- Simul8 Corporation. (24 de Marzo de 2017). *Flexible simulation software to improve any process*. Obtenido de <https://www.simul8.com/>
- The Anylogic Company. (22 de Marzo de 2017). *Anylogic, Multimethod Simulation Software*. Obtenido de <http://www.anylogic.com/>
- The Boston Consulting Group. (4 de Abril de 2017). *Bcg Perspectives*. Obtenido de https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/?chapter=2
- Thomassey, S. (2010). Sales forecasts in clothing industry: The key success factor of the supply chain management. *Int. J. Production Economics*, 470-483.

- Visual Components. (23 de Marzo de 2017). *Factory Simulation Software*. Obtenido de <http://www.visualcomponents.com/>
- Yao, L. Z. (2010). Visual simulation framework of iron and steel production scheduling based on flexsim. *5th International Conference on Bio-Inspired Computing*, (págs. 54-58). Changsha, China.
- Zankoul, E. K. (2014). *Simulation of on-shore wind farm construction process in lebanon*.