

## LOS MODELOS DE SIMULACIÓN: UNA HERRAMIENTA MULTIDISCIPLINAR DE INVESTIGACIÓN

*Carmen Fullana Belda,  
Elena Urquía Grande  
Universidad Pontificia de Comillas*

### 1. INTRODUCCIÓN

El entorno macroeconómico al que tienen que enfrentarse las empresas es cada vez más incierto. Paralelamente, desde el punto de vista de la empresa misma, esta ha de hacer frente a una mayor competencia, y relacionarse con clientes cada vez menos cautivos al disponer de un elevado grado de información sobre el mercado. Ello se traduce en una irremisible bajada de resultados y una incertidumbre que comporta elevados niveles de riesgo. Ante esta situación surge la necesidad de manejar nuevos instrumentos para mejorar la planificación estratégica de las empresas.

Nuestro trabajo presenta la alternativa de aplicar modelos de simulación en los que se consideren los distintos escenarios posibles en las actividades clave de una empresa. Se trata de permitir a las empresas predecir, comparar y optimizar el comportamiento de sus procesos simulados en un tiempo muy breve sin el coste ni el riesgo de llevarlos a cabo, haciendo posible la representación de los procesos, recursos, productos y servicios en un modelo dinámico. Con la ayuda del correspondiente soporte informático, el modelo de simulación tiene la capacidad de considerar complejas tareas interrelacionadas y proyectarlas mediante la realización de muchas combinaciones alternativas en cuestión de segundos. Además, la interacción de los recursos con los procesos, productos y servicios sobre el tiempo se traduce en un gran número de escenarios y de posibles resultados imposibles de abarcar y valorar sin la ayuda de un modelo de simulación computerizado.

En este trabajo de investigación vamos a analizar la teoría de la simulación, sus antecedentes, los procesos, métodos y lenguajes de programación para la modelización a medida para cada empresa. En futuras investigaciones procederemos a implementar dichos modelos y a estudiar su validación.

### 2. LA TEORÍA DE LA SIMULACIÓN.

Como antecedentes de la teoría de la simulación podríamos mencionar la teoría de la dinámica de sistemas. A su vez, la teoría de la dinámica de sistemas se basó en la teoría de los servomecanismos, cuya característica fundamental es la existencia en los mismos de una realimentación de información. Se entiende por realimentación el proceso en virtud del cual, cuando se actúa sobre un determinado sistema, se obtiene continuamente información sobre los resultados de las decisiones tomadas, información que servirá para tomar las decisiones sucesivas. La teoría de los servomecanismos tiene dos características fundamentales: El estudio sistemático del concepto de realimentación y un amplio desarrollo del estudio del comportamiento dinámico de los sistemas donde se encuentra el germen de la noción de sistema dinámico [Aracil, J.,1986]. Estas ideas de realimentación y de sistema dinámico se aplicaron en el estudio de procesos socioeconómicos más que en procesos tecnológicos ya que en los procesos socioeconómicos se desconocen, la mayoría de las veces, las leyes que rigen las interacciones elementales que se producen en el seno de los mismos y sin embargo muestran un comportamiento dinámico y una fuerte interacción entre sus partes. Es decir, según pasa el tiempo, las variables con que se mide su estado, tales como las ventas, la producción, los empleados etc., fluctúan

considerablemente, como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas, que además son aleatorias.

En esta área de conocimiento se desarrolló la teoría de la simulación que podría definirse como un medio que experimenta con un modelo detallado de un sistema real para determinar como responderá el sistema a los cambios en su estructura o entorno [Harrell, C., Tumay, K; 2001]. Por otro lado se podría afirmar que la simulación permite experimentar con un modelo del sistema para comprender mejor los procesos, con el fin de mejorar la actividad en las empresas [Harrington, H. J. y Tumay, K; 1999]. Finalmente un aspecto muy importante a destacar dentro de las distintas definiciones de la teoría de la simulación es que ésta pretende imitar el comportamiento del sistema real, evolucionando como éste, pero lo más frecuente es estudiar además la evolución del sistema en el tiempo.

A nivel de planificación y control estratégicos de una empresa, los modelos de simulación insertan varios *inputs* a un sistema y proporcionan un modelo para evaluar o volver a diseñar y medir o cuantificar factores tan importantes como la satisfacción del cliente, la utilización de recursos, el proceso de reingeniería y el tiempo invertido en todo ello. Si nos refiriéramos al proceso de reingeniería o proceso de innovación, como a veces se le denomina, éste es un medio por el que las organizaciones intentan reinventarse. Este esfuerzo comporta procesos de replanteamiento, búsqueda de procesos innovadores y por ello más efectivos y eficientes de cara a ser productoras de mayor número de negocios. Una herramienta básica utilizada para replantear los procesos en las organizaciones es la simulación.

La simulación es un medio mediante el cual tanto nuevos procesos como procesos ya existentes pueden proyectarse, evaluarse y contemplarse sin correr el riesgo asociado a experiencias llevadas a cabo en un sistema real. Es decir, permite a las organizaciones estudiar sus procesos desde una perspectiva sistemática procurando una mejor comprensión de la causa y efecto entre ellos además de permitir una mejor predicción de ciertas situaciones. La teoría de la simulación permite valorar, replantear y medir, por ejemplo, la satisfacción del cliente ante un nuevo proceso, la utilización de recursos en el nuevo proceso o incluso el tiempo para minimizarle. Todas estas posibilidades hacen de la simulación un instrumento ideal para un esfuerzo de replanteamiento de la empresa.

### **3. MODELIZACIÓN DE PROCESOS**

Como acabamos de mencionar, las empresas utilizan cada vez más el proceso de simulación como parte de su enfoque al proceso de innovación del negocio y mejora en su actividad. La simulación se emplea para comprender y analizar el balance de una empresa así como a visualizar el futuro estado del sistema replanteado y procura un medio para generar sugerencias para mejorar los procesos de innovación. Las interacciones de las personas con los procesos y la tecnología de una empresa en el tiempo se traducen en numerosos escenarios que son imposibles de ser recogidos y valorados sin la ayuda de un modelo de simulación computerizado. La habilidad para mostrar como un proceso se desarrollaría, para medir su rendimiento y para tratar diversas hipótesis "*what ifs*" en un modelo computerizado hacen del proceso de simulación una técnica precisa para tomar decisiones.

Podríamos poner ejemplos de procesos económicos en los que la simulación ha sido utilizada, entre los que podemos incluir: para ordenar la producción/gestión, con el fin de mejorar el servicio y acertar en el tiempo de respuesta a las exigencias de los clientes, en la gestión de inventarios, para ayudar a valorar varias opciones con el fin de seleccionar un sistema efectivo de costes, para ayudar a replantear procesos como acortar el tiempo de respuesta al cliente y mejorar el servicio, con el fin de mejorar la calidad del servicio de entrega con una utilización eficiente de recursos empleando procesos más ajustados al tiempo, para el procesado de reclamaciones con vistas a minimizar el tiempo del ciclo que irá en relación inversamente proporcional a la satisfacción del cliente y para ayudar a la mejora del sistema de respuesta a las exigencias del mercado externo.

En cada situación, el proceso de simulación facilita los medios para analizar el sistema y permite un enfoque innovador para lograr mejorar soluciones. Por otro lado, permite la representación de los procesos, recursos, productos y servicios en un modelo dinámico computerizado, que, cuando simula, reproduce las operaciones del negocio, discurre a través de los acontecimientos en un tiempo reducido mientras despliega un cuadro animado del curso del trabajo. Debido a que el software de la simulación tiene en cuenta las estadísticas de los elementos del modelo, el comportamiento métrico puede ser evaluado mediante el análisis de los datos *output* del modelo. Existen situaciones en las que la causa y el efecto son sutiles, y en las que los efectos sobre el tiempo de intervenciones no son obvios, es decir, conllevan complejidad dinámica. Sin embargo, los instrumentos convencionales de previsiones, planificaciones y análisis, no están equipadas para tratar con esta complejidad dinámica. Los procesos de negocios, tales como la cadena de suministros, el servicio al cliente y el desarrollo de nuevos productos son demasiado complejos y dinámicos como para ser entendidos y analizados sólo por técnicas de flujogramas y hojas de cálculo. La interacción de los recursos con los procesos, productos y servicios sobre el tiempo se traduce en un gran número de escenarios imposibles de abarcar y valorar sin la ayuda de un modelo de simulación computerizado (ver apartado software de simulación).

De esta manera, al simular procesos debemos de dar en primer lugar una definición de qué es un proceso. Un *proceso* se podría definir como una serie de actividades lógicas relacionadas secuencialmente que toma un *input* de un suministrador, le añade valor y produce un *output* para el cliente. Un proceso generalmente integra más de una función dentro de la estructura organizativa y ello posee un impacto significativo en el curso de las funciones de la organización. Cuando un proceso es demasiado complejo para ser un diagrama a nivel de una actividad, se divide, frecuentemente en sub-procesos. De esta manera definiríamos un *subproceso* como una parte de un proceso principal que logra un objetivo específico en apoyo del proceso principal o proceso clave. Dentro de un proceso o de un sub-proceso se realizan las *actividades* definidas a su vez por *tareas* que las realizan personas o departamentos y se documentan frecuentemente en una instrucción, en términos de las tareas que implica la actividad. Las tareas son los elementos individuales de una actividad. Normalmente las tareas se relacionan con la manera en que un recurso desarrolla un cometido específico.

Por último, un *sistema* será el conjunto de componentes (hardware, procedimientos, funciones humanas y otros recursos) unidos por una especie de interacción regulada para formar un todo organizado. Un sistema es un grupo de procesos clave relacionados que pueden o no pueden estar conectados.

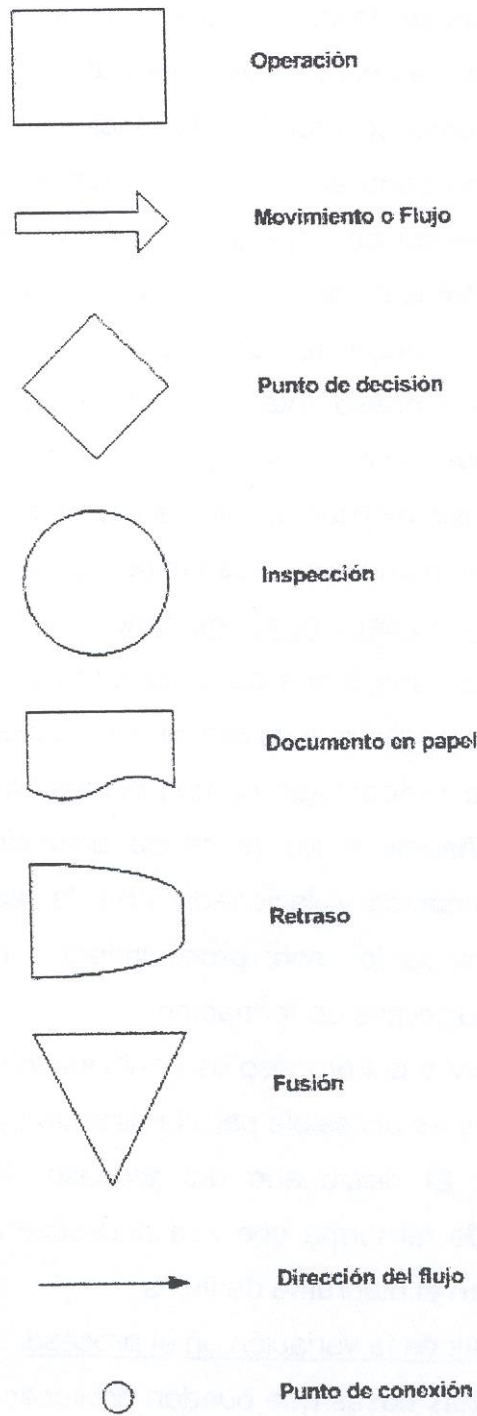
Los pasos para el análisis de un proceso serían los siguientes:

*1º. Representación del proceso:*

El proceso de representación del proceso ha evolucionado hasta convertirse en uno de los instrumentos más importantes contra la pérdida de tiempo y recursos. Este paso empezó con la construcción de *diagramas en bloque*, que es lo más sencillo, facilitando una visión rápida y nada complicada del proceso. Consiste en un método gráfico de mostrar el flujo de actividad a través de un proceso, utilizando rectángulos conectados por una línea con una flecha al final indicando la dirección del flujo. Una frase corta describiendo la actividad se recoge en cada rectángulo.

El proceso de *Flujogramas* es uno de los más antiguos de las ayudas visuales al proceso, todavía hoy es muy utilizado. Es un grado más complejo que los diagramas en bloque. El flujograma es un método de descripción gráfica de un proceso existente o de una propuesta de nuevos procesos utilizando símbolos sencillos, líneas y palabras para desplegar pictóricamente las secuencias de las actividades de una empresa. El flujograma presenta gráficamente las actividades que constituyen un proceso en mayor medida que los mapas representan un área concreta.

Algunas ventajas de utilizar flujogramas podrían ser análogas a utilizar mapas para entender las carreteras. Ambos utilizan símbolos que representan distintas actividades, por ejemplo el ANSI que maneja un tipo de flujograma estándar sus símbolos serán:



Los flujogramas y sus símbolos son la base fundamental para todas las actividades de simulación de modelos. Es esencial que cualquier persona que considere utilizar modelos de simulación tenga una comprensión de la tecnología de los diagramas de flujos.

*2º. Análisis del proceso de actuación:*

Este análisis se desarrolló para obtener datos de actuación referentes a cada actividad en el proceso y para utilizar estos datos para calcular la actuación del proceso total. La información típica que habría de obtenerse en relación con cada actividad es el tiempo del ciclo total, el tiempo de proceso, el tiempo de espera, el coste y finalmente el rendimiento. La colección de datos de actuación

de las actividades o nivel de tarea de un cuadro de flujo debe ser eficiente para ser utilizado para calcular la actuación del proceso total. Un programa computerizado es utilizado frecuentemente como soporte de un análisis de un proceso de actuación debido a las complejidades que se producen cuando el cuadro de flujos incluye un gran número de bloques de decisión.

### *3°. Diccionario del proceso de conocimiento*

Consiste en una forma de almacenar, en tiempo real, la información relativa a un proceso que se organiza de acuerdo con cada actividad en el proceso. Esta metodología es una extensión del análisis del proceso de actuación. Añadido a los datos de actuación se suelen recoger toda aquella información relacionada con la actividad. Los típicos datos adicionales recogidos son: procedimientos operativos, instrucciones de trabajo y documentos de formación.

El diccionario del proceso de conocimiento se guarda normalmente en tiempo real, y es accesible para la dirección y los empleados que realizan la actividad. El diccionario del proceso de conocimiento debe estar organizado de tal forma que sea accesible a través de cada bloque de actividades en el diagrama de flujos.

### *4°. Análisis de la variación en el proceso*

Hay muchas cosas que pueden provocar una variación en el proceso, como son las siguientes:

- Un flujo de trabajo irregular
- Diferencias en la complejidad del trabajo individual
- Cambios en los conductores de *input*
- Equipos lentos u obsoletos
- Variación estacional

La variación en cada proceso de la empresa está produciéndose simultáneamente en cada actividad y la variación está sucediendo en muestras tomadas aleatoriamente. Muchas veces se hace el análisis del proceso de variación como una forma de combinar la variación que se produce en cada tarea o actividad del proceso, con el fin de realizar una predicción realista de la variación total de todo el proceso.

### *5°. Animación del flujo del proceso*

Hasta el desarrollo de la animación por ordenador, el diseño del proceso estaba limitado a una representación estática del mismo. Pero con la animación del proceso de flujo a través de la pantalla del ordenador esto se convierte en algo vivo. Así se puede mostrar el flujo de transacción a través del proceso y determinar como los cuellos de botella afectan al proceso de actuación. Por ejemplo, a nivel de una empresa, la animación puede mostrar a los clientes que están esperando mientras las personas que les van a dar el servicio están ocupadas, otro ejemplo podría ser el de recursos ociosos de una empresa como la capacidad no utilizada de un almacén por la demora del transporte.

### *6°. Control del flujo de trabajo*

Este es un modelo en tiempo real que se utiliza para seguir las transacciones a lo largo del proceso. Cada vez que una transacción entra en actividad ésta es registrada en el mismo; cuando abandona la actividad, es desalojada. La información es analizada y computerizada de manera que la situación exacta de cada transacción es conocida en todo momento. Generalmente el tiempo máximo de una transacción en cada actividad específica está previsto en el programa de ordenador de manera que las excepciones son puestas de manifiesto y las prioridades reestablecidas.

Como conclusión podríamos decir que, estos seis pasos del proceso de modelización de un proceso de simulación abren las puertas a los procesos de optimización o reingeniería que están total o parcialmente integrados en las empresas. De la misma manera que una empresa desarrolla el objetivo de un proceso, éste avanzará progresivamente a través de cada uno de estos seis niveles.

#### 4. ELABORACIÓN E IMPLANTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN

La ejecución de un proyecto de simulación requiere el seguimiento de un proceso secuencial en tres fases:

1. *Evaluación y diseño.* Esta primera fase supone actividades tales como:

- 1.1 Identificar dentro de la organización al responsable-promotor del proceso de simulación, lo que permite conseguir el compromiso de la gerencia.
- 1.2 Determinar las necesidades de simulación. Para ello habrá que determinar cuestiones tales como las características del proceso a modelizar (los procesos con altas tasas de transacciones pero de flujo directo tienen necesidades distintas que los procesos de baja tasa con flujos múltiples y complejos), si la modelización supondrá reingeniería de proceso, con qué frecuencia se realizarán las simulaciones, quienes serán los usuarios finales, etc.
- 1.3 Estimar los recursos necesarios, mediante la elaboración de un plan financiero y un presupuesto en el que se estimen tanto los costes de puesta en marcha de la tecnología de simulación, como los de su aplicación.
- 1.4 Evaluar y seleccionar las tecnologías de simulación disponibles. Ello permite evaluar el coste y el tiempo necesario para realizar el proyecto.

Cuando se inicia un estudio de simulación, puesto que estamos en el momento de arranque de la investigación, una primera aproximación para construir un modelo consiste en la utilización de funciones "lo mas sencillas posibles", por ejemplo, polinomios de primer o segundo grado, [Houck, E. C, Cooley, B. J.; 1983]. Un ejemplo de función polinómica de primer grado utilizada para estos estudios iniciales podría ser:

$$Y = \beta_0 + \sum_i^k \beta_i X_i + \varepsilon$$

Y un ejemplo de función polinómica de segundo grado podría ser:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{\substack{j=1 \\ (i < j)}}^k \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Siendo "Y" la respuesta estimada y "ε" el factor aleatorio.

A medida que se va rodando el modelo se va llegando a la región de respuesta óptima. En los experimentos iniciales, el modelo de primer grado puede dar una estimación bastante aproximada de la respuesta óptima y será útil para identificar las siguientes regiones de exploración. Se utilizan las funciones de primer grado hasta que el modelo es incapaz de explicar lógicamente la respuesta obtenida, se adivina entonces la presencia de una curva y se pasa a una función de un grado superior para la exploración de las regiones posteriores. En este caso sería una función de segundo grado fácilmente tratable matemáticamente. Una vez que la región óptima está localizada, el modelo de simulación servirá como herramienta para estimar los coeficientes óptimos para las variables clave y

realizar un análisis de sensibilidad del sistema. Cada empresa tiene una serie de variables independientes y otras dependientes relacionadas entre sí a través de sendas relaciones causa efecto.

Los 4 métodos de simulación mas comunes son:

- 1.4.1 *Métodos analíticos.* Están basados en técnicas asociadas a la teoría de colas, consistiendo esencialmente en nodulos ensamblados entre sí en una red multinivel. La simulación analítica pone de manifiesto múltiples aspectos ligados a la complejidad dinámica de los procesos en los que varios agentes compiten por un mismo recurso, así como la variabilidad asociada a procesos de entrada-salida. Los modelos analíticos proporcionan estimaciones sobre hechos agregados estables con más precisión que el análisis proporcionado por series de datos.
- 1.4.2 *Métodos continuos.* En esta aproximación, el comportamiento de los procesos se simula utilizando ecuaciones diferenciales que reflejan la variación en el tiempo de cada variable de estado. Una variable de estado podría ser la tasa de llegada de órdenes o la tasa de procesamiento de un recurso. Estos modelos son apropiados para modelizar procesos de gran volumen o producciones continuas. Evidentemente, se ha de suponer que las variables de estado varían de forma continua y diferenciable en el tiempo (generalmente, las ecuaciones diferenciales se utilizan cuando el tamaño del paso del tiempo es pequeño). Se trata de determinar los valores corrientes de las variables de estado hasta el momento en el cual se alcanza un umbral que pone en marcha ciertas acciones. Las ecuaciones diferenciales pueden tener en cuenta comportamientos de tipo estocástico, y los modelos correspondientes han de ser capaces de modelizar tanto los fenómenos de transición como los estados de equilibrio. Dos grandes retos para los modelizadores que utilizan estas técnicas son el desarrollo de ecuaciones que describan los comportamientos aleatorios dependientes del tiempo, así como evaluar los resultados obtenidos mediante la resolución analítica o numérica de dichas ecuaciones.
- 1.4.3 *Métodos discretos.* En este tipo de simulación, las variables de estado del modelo evolucionan sobre un conjunto discreto de puntos, quizás aleatorio, del eje de tiempos. En estos modelos, los flujos temporales entre los puntos del mencionado conjunto compiten unos con otros por el uso de los recursos escasos.

Estos modelos permiten simular comportamientos aleatorios introduciendo distribuciones de probabilidad discretas.; por ello, los resultados obtenidos por estos modelos discretos son asimismo aleatorios, con lo que tan solo pueden ser tomados como una estimación del comportamiento real, siendo necesario múltiples aproximaciones y/o repeticiones para que el resultado obtenido, en términos medios, se aproxime al real.

Dado que se trata de modelos discretos, se puede recurrir a la modelización mediante ecuaciones en diferencias finitas (si los puntos del eje de tiempos son aleatorios, es seguro que no estarán igualmente espaciados, entonces resulta mas complejo la utilización de técnicas asociadas a ecuaciones en diferencias finitas).

En un proceso de simulación de tipo discreto, se introducen en el modelo entidades que representan productos y servicios, y que al competir por los recursos que permiten llevar a cabo las actividades, los consumen. Es la técnica de simulación mas natural para modelizar y analizar procesos.

- 1.4.4 *Todos orientados a objetos.* Esta técnica de modelización contempla a procesos, productos, servicios y recursos como si de objetos se tratara. Cada objeto está formado por una combinación de información (atributos) y procedimientos (métodos); ambos se combinan para crear un "ejemplar" del objeto en cuestión. Por ejemplo, un objeto denominado "cliente" puede tener como atributos edad, capacidad de endeudamiento y nivel de educación. En un proceso convencional de solicitud de hipoteca, todos los formularios de préstamo recorren un mismo

proceso basado en ciertas pautas, pero usando un modelo orientado a objetos, se puede definir una información única para un cliente específico y los procedimientos exclusivos a utilizar con su formulario de solicitud de préstamo.

Los métodos orientados a objetos reducen drásticamente los tiempos de desarrollo de los modelos en el sentido de que no será preciso volver a construirlo desde la base, se puede utilizar una plantilla versátil y reutilizarla.

El propósito de la simulación y modelización orientada a objetos es facilitar la posibilidad de crear complejos submodelos que maximicen su ciclo de vida y permitan su integración en otros modelos.

Este método permite incorporar las técnicas anteriormente tratadas, tanto analíticas como continuas y discretas, ya que para modelizar los flujos intermedios entre los objetos; se puede recurrir a submodelos que utilicen dichas herramientas.

1.5. Analizar las relaciones entre herramientas y métodos de simulación con el fin de obtener sinergias. El proceso de simulación está estrechamente relacionado con ciertas herramientas y métodos tales como cartografía de procesos mediante flujogramas, sistemas de coste basados en las actividades, así como el diseño de experimentos.

1.6. Evaluar y seleccionar el software de simulación. Este paso es de vital importancia. Dedicamos el apartado siguiente de nuestro trabajo a tratar de este tema con más detalle.

1.7. Recibir la formación pertinente y gestionar el proyecto piloto. Gestionar el proyecto piloto supone acciones tales como análisis y captura de datos de entrada, construcción del modelo piloto, diseño y realización de pruebas y análisis de los datos de salida.

Los procesos más susceptibles de modelización son aquellos para los que es posible la representación mediante flujogramas, los que van a ser sujetos a reingeniería, aquellos a los que ha sido aplicado el benchmarking, los que tienen gran impacto en la cadena de valor, los que se les han adaptado nuevas aplicaciones de software, los que presentan algún problema de costes, planificación o ciclo temporal, y los que han sido desarrollados usando un análisis basado en las actividades.

2. *Ejecución.* Una vez que el proyecto piloto ha tenido éxito, confirmando la conveniencia de la simulación, la fase de ejecución puede dar comienzo. Esta fase comprende las siguientes etapas:

2.1. Diseño del proyecto de simulación. Para completar esta etapa es preciso realizar tres tareas:

2.1.1. *Definir los objetivos* que se desean alcanzar con el modelo de simulación. Los más comunes suelen ser análisis del funcionamiento de un proceso (si actúa de forma correcta bajo un determinado conjunto de circunstancias en medidas significativas tales como utilización de recursos, rendimiento, tiempos de espera, etc.), análisis de la capacidad del proceso (cuál es el máximo de capacidad de procesamiento), o saber si el proceso es capaz de hacer frente a requerimientos específicos, un análisis de sensibilidad sobre aquellas variables de decisión esenciales, o bien un análisis de optimización sobre un conjunto de valores de variables de decisión.

2.1.2. *Definir las restricciones.* Tan importante como definir los objetivos es identificar las restricciones que afectan al proyecto de simulación. Una restricción importante es el tiempo; no tiene sentido proyectar una simulación para resolver un problema si el tiempo de ejecución se extiende más allá del plazo posible para su resolución.



2.1.3. *Definir el campo de actuación del modelo.* Ello incluye aspectos tales como la extensión del modelo, nivel de detalle, grado de precisión, tipo de pruebas a realizar y contenido y formato de presentación de los resultados.

Definir las fronteras del modelo supone encuadrarlo dentro de unos límites superiores e inferiores, así como delimitar su principio y final.

2.2. *Captura y análisis de datos.* Previamente es preciso hacer una clasificación de datos distinguiendo entre variables que dependen del tiempo, las que dependen de los recursos y las que dependen de determinadas condiciones, así como diferenciar las variables de entrada de las variables de respuesta, y sobre todo, determinar los requerimientos de datos y conocer las fuentes de los mismos.

Resulta de utilidad visualizar y documentar los datos y flujos del proceso mediante un flujograma (como mencionábamos en el apartado anterior).

2.3. *Construcción del modelo.* Una de las ventajas de la simulación se encuentra en que los modelos no han de incluir todos sus detalles para poder ponerlos en funcionamiento; ello permite que en su construcción se vayan realizando refinamientos progresivos hasta conseguir el formato definitivo. Es mejor comenzar con un modelo simple e ir añadiendo complejidad de forma paulatina.

Conviene tener presente que con la tecnología de simulación orientada a objetos, que hace posible la reutilización, junto con la disponibilidad de herramientas de simulación adaptables y la creciente integración de métodos de representación de procesos tales como los flujogramas, es posible utilizar modelos de simulación de forma reiterada sin necesidad de construirlos de nuevo desde el principio.

Por ejemplo, la simulación puede ser utilizada para la toma de decisiones estratégicas tales como determinar la factibilidad de diferentes alternativas de niveles de producción o estrategias alternativas sobre niveles de existencias. Modelizada una configuración, su algoritmo puede ser utilizado de nuevo a nivel operacional como base para desarrollar otro sistema de control para la toma de decisiones lógicas en cualquier otro punto de gestión del proceso.

2.4. *Verificación del modelo.* Realización de análisis, pruebas y presentación de resultados.

3. *Medida de logros y mejora continua.* Esta fase comprende acciones tales como revisión de metas y principios, debates, establecimiento de informes y procedimientos de retroalimentación y ejecución de procesos de mejora continua.

## **5. VENTAJAS DE LA SIMULACIÓN**

Los procesos de simulación ayudan a las organizaciones a predecir, comparar y optimizar los resultados de un proceso sin el coste y los riesgos que suponen. Su importancia radica en su utilidad para plantear la estrategia de una empresa desde el punto de vista experimental, para generar observaciones en las variables clave y el análisis estadístico de los datos resultantes

Razones para utilizar la teoría de la simulación en una empresa como herramienta de apoyo a la Contabilidad [Harrington, H.J. y Tumay, K.:1999]

- *La simulación anticipa cómo un sistema puede responder a los cambios:* Esto permite analizar si la infraestructura existente puede manejar la nueva situación planteada.

- *La simulación permite un análisis de las variaciones del sistema desde una perspectiva más amplia:* Los métodos convencionales de análisis, como los modelos estadísticos matemáticos, no pueden dirigir eficientemente las variaciones pues los cálculos se derivan de valores constantes. Mediante un sistema que incorpora interdependencia, la simulación tiene en cuenta las variaciones, así como la interacción entre los componentes y el tiempo.
- *La simulación promueve soluciones totales:* Ya que permite modelar sistemas completos.
- *La simulación es efectiva para el control de costes:* Teniendo en cuenta que las organizaciones tratan de responder rápidamente a los cambios en sus mercados, un modelo de simulación válido puede ser un excelente instrumento para evaluar respuestas rápidas y valorar varias soluciones para responder a las cambiantes situaciones del mercado.
- *La simulación procura un enfoque cuantitativo para medir la actividad:* La simulación puede ayudar a cuantificar las medidas de actividad del sistema. Por ejemplo el objetivo de una empresa puede ser satisfacer al cliente, usando un modelo de simulación, esta exigencia puede traducirse en el tiempo para responder a la petición de un cliente, que puede ser designado como la medida de actuación para satisfacer a la clientela. La simulación mide los puntos fuertes y los débiles asociados al diseño de un nuevo producto o servicio y permite un mayor análisis sobre parámetros como el tiempo al mercado, niveles de servicio, exigencias de mercado, costes de transporte, etc.

Otras ventajas:

- *Permite cuantificar el impacto sobre el tiempo total del proceso de las actividades que no generan valor añadido:* Tales como colas, retenciones y revisiones reiterativas, que en ocasiones suponen un elevado porcentaje del ciclo temporal del proceso.
- *Permite efectuar cambios en la simulación del proceso a lo largo del ciclo de vida del producto para una estrategia de precios basada en el tiempo.* El ciclo de vida de los productos y servicios cada vez es más corto y los costes de desarrollo, pruebas y marketing de los mismos no se recuperan hasta que no se generan ingresos. Distribuir este coste entre los distintas etapas del ciclo de vida del producto es crítico para la estrategia de establecimiento de precios del producto. Mediante la modelización es posible conocer cuándo los costes totales invertidos en desarrollo del producto pueden ser recuperados, lo cual constituye una información valiosa en la estrategia de establecimiento de precios del producto.
- *Permite a las organizaciones estudiar y reducir las oscilaciones de los procesos definiendo las actividades de mayor impacto en la variación total de cada proceso.*
- *Permite evaluar posibles cambios en la organización.* La modelización de recursos y jerarquía de procesos permite la visualización y evaluación de las posibles alternativas antes de tomar decisiones arriesgadas sobre cambios en la organización.

Existe numerosa bibliografía sobre el uso de la simulación como herramienta de apoyo a la Contabilidad de una empresa. Ha quedado demostrado que el control de gestión, la auditoria y la Contabilidad Pública son las áreas de la Contabilidad que mayor uso de la simulación han realizado [O'Leary, D.E.; 1983], especialmente en modelos de planificación y presupuestación, previsiones de ventas, toma de decisiones sobre Inversiones de capital, asignación de los costes indirectos al producto, análisis coste-beneficio, etc.

## 6. SOFTWARE DE SIMULACIÓN

La simulación computerizada fue utilizada por primera vez en la industria de Defensa en los años 50. Los primeros modelos de simulación fueron construidos utilizando lenguajes de programación tales como FORTRAN y Run On Mainframes [Harrington, H.C y Tumay, K.;1999]. En los años 80, otro gran desarrollo de la simulación fue la explosión de los usuarios de ordenadores personales que llevó la empresa Microsoft en el entorno operativo. Instrumentos de simulación como

Writness, Pro-model, Arena y Ithink mostraron con los menú-driver interfaces modelos visuales interactivos y posibilidades de animación impresa. Estos desarrollos afectaron significativamente a la extensión del uso de los lenguajes de simulación. La primera mitad de los noventa aportó otro interesante desarrollo de la simulación. Existe una relación natural entre los modelos objeto orientado y la simulación. Los lenguajes de simulación tales como Modsim y Simple ++ representaron otro hito en la simulación, aprovechando la tecnología del objeto y permitiendo bibliotecas de "objeto reutilizable". Este desarrollo está favoreciendo el desarrollo de soluciones en el campo específico de la simulación, haciendo así la simulación útil para un mayor número de usuarios finales. Independientemente de los diferentes desarrollos del pasado y del presente, es evidente que la simulación ha sido siempre un poderoso instrumento. Creemos que el futuro de la simulación se basa en la posibilidad de distribuir modelos en una red. La aplicación más pragmática de la misma sería su uso en la red mundial. Existen ya muchas investigaciones y desarrollos que se están realizando en esas áreas. En la próxima década por tanto, un incremento en el uso de la simulación, la tecnología orientada al objeto y la web cambiarán dramáticamente la forma de utilizar la simulación en el futuro.

En estos últimos años han surgido muchos tipos de lenguajes de programación para diseñar software de simulación de facilidad de uso para los usuarios. Antes, la aleatoriedad de los coeficientes en los modelos de simulación hacia su resolución inviable, actualmente con el apoyo de la Informática, la resolución de estos modelos resulta muy sencilla. Los paquetes de software y lenguajes de programación han proliferado: tal es el caso del ITHINK [High Performance Systems; <http://www.hps-inc.com>] o su versión más sencilla el STELLA [High Performance Systems] o el SIMPROCESS [Harrington, H.C y Tumay, K.; 1999]. En nuestra investigación haremos la modelización de los procesos de la empresa con el apoyo de uno de estos lenguajes de programación de simulación. Por último señalar que, en general, las características que tiene que tener un software de simulación son de funcionalidad, utilidad, bajo coste y buena calidad de mantenimiento del proveedor.

## 7. CONCLUSIONES

Vistas las innegables ventajas de la aplicación de los modelos de simulación en la planificación y gestión estratégica de la empresa, nuestro propósito es continuar en esta línea de investigación: concretamente en la aplicación de modelos de simulación a empresas españolas del sector de servicios sociales, y más específicamente en hospitales. Este es un sector cuyas características (gran dinamismo, tiempos de colas que se han de resolver óptimamente, procesos de reingeniería en constante uso) hacen que consideremos que la implementación de la técnica de simulación mediante modelización de sus procesos más estratégicos constituya un campo de gran interés.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Aracil, J.: Introducción a la dinámica de sistemas. Alianza Editorial. Madrid, 1996.
- Harrell, C.; Tumay, K.: "Simulation Made Easy. A Manager's Guide". Norcross, GA: Industrial Engineering and Management Press, 1995.
- Harrington, H. J.; Tumay, K.: Simulation modeling models. McGraw Hill New York. 1999. USA.
- High Performance Systems: <http://www.hps-inc.com>
- Houck, E. C.; Cooley, B. J.: "Experimental strategies for the estimation of optimum operating conditions in simulation studies". Winter Simulation Conference. 1983. USA.  
<http://lionrtpub.com/software-surveys.shtm>  
<http://www.wintersim.org>
- O'leary, D.: "The use of simulation in accounting: A managerial emphasis". Winter Simulation Conference. USA. 1998.
- Reese, R.; Sheppard, S.: "A Software Development Environment for Simulation Programming". Winter Simulation Conference. USA. 2001.
- Szulanski, F.; Rodríguez, P.: "Utilizando la simulación para mejorar la efectividad del Tablero de Comando". <http://www.5campus.com/lección/simulatablero>.