

# Análisis de un simulacro de accidente grave en la empresa con un modelo de simulación

## Analysis serious accident emergency drill with a simulation model

Dr. Juan Martín García  
Cátedra UNESCO en Desarrollo Sostenible  
Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España  
jmg@atc-innova.com

Dr. José María Bañeres Barril  
Departamento de Empresa y Tecnología  
La Salle. Universidad Ramon Llull. Barcelona. España  
jmbaneres@salle.url.edu

---

### RESUMEN

Los estudios de riesgos laborales con modelos de simulación se clasifican en dos grupos: los que analizan accidentes que han ocurrido para obtener reglas aplicables en el futuro, y los que analizan las reglas de funcionamiento y los mecanismos de control de riesgos para reproducir su funcionamiento ante posibles accidentes, para identificar las pautas de prevención y actuación necesarias. Así pues existe un enfoque ex-post del accidente en base al estudio de la cadena de sucesos que lo han ocasionado para evitar que se repita, y un enfoque ex-ante que analiza como la complejidad de las relaciones entre las partes del sistema pueden dar lugar a accidentes, y simula diversas estrategias que permitan reducir el riesgo. A continuación se describe con ayuda de un diagrama causal el sistema de prevención de riesgos laborales de una empresa genérica, y ese mismo diagrama se transforma en un modelo de simulación –a pesar de utilizar variables cualitativas- para simular los efectos que produce en la empresa realizar el simulacro de un accidente laboral grave.

*Palabras clave:* riesgos laborales; simulacro; accidente; control; prevención; modelo de simulación; dinámica de sistemas; diagrama causal.

### ABSTRACT

Studies of labour risks with simulation models can be categorized into two groups: those which analyze serious accidents to obtain applicable rules in the future, and those who analyze the rules and mechanisms of control of risks to simulate the functioning before potential accidents in order to identify and manage the necessary guidelines of prevention and course of action. Here we have an ex-post approach where we study the chain of events that have caused the accident to prevent it from repeating itself, and on the other hand we have an ex-ante approach that analyzes the complexity of the relations between the parts of the system that can give place to accidents and it simulates diverse strategies that allow to reduce the risk. Later it is described using a causal graph the system of prevention of labour risks of a generic company, and that same graph transforms itself in a model of simulation - in spite of handling qualitative variables - to simulate the effects that are produced in a serious emergency practice.

*Keywords:* risks, emergency drill, labour accident; control; prevention; simulation model; system dynamics; system thinking

---

Los modelos de simulación tienen una utilidad probada en determinadas actividades de la empresa como por ejemplo en el diseño de componentes mecánicos, donde es posible realizar ensayos de resistencia a las vibraciones o la torsión de las piezas en un modelo de simulación antes de construir un prototipo. En gestión de producción también son de utilidad los modelos de simulación ya que permiten ver el impacto que tendrían cambios bruscos de la

demanda o interrupciones del suministro de alguna materia prima, para así planificar las soluciones más eficaces en cada caso. Dentro de la empresa también es posible utilizar los modelos de simulación con Dinámica de Sistemas en el ámbito de la gestión (Sterman, 2000), existe una extensa bibliografía con abundantes ejemplos que sirven de orientación antes de utilizar esta técnica en nuestro propio ámbito de interés, ya que nos aportan ideas y enfoques de cómo otras personas han abordado un problema similar.

La Dinámica de Sistemas es una técnica bien definida que tiene sus primeras publicaciones hace más de 50 años, y de la que existe una apreciable cantidad de trabajos y publicaciones que recogen la experiencia de personas que han utilizado los modelos de simulación creados con esta técnica al análisis de una gran cantidad de ámbitos y problemas.

En el ámbito empresarial se pueden diferenciar los trabajos que hacen referencia a temas de producción de los que hacen referencia a temas de gestión. Los modelos de simulación relativos a la gestión tienen un aspecto interesante que no aparece en ningún otro tipo de aplicaciones prácticas, y es la necesidad que tienen de poder ser explicados de una forma clara en unos cinco minutos a personas que no conocen en absoluto esta técnica, para poder justificar unas conclusiones o propuestas de forma convincente. Se trata de un reto formidable – que hace fracasar la aplicación de muchos buenos trabajos – porque el personal directivo que debe valorar las propuestas no dispone de tiempo para entrar en los detalles ni hipótesis que se han utilizado para diseñar el modelo de simulación.

Es necesario diseñar un modelo de simulación detallado para el análisis del problema que justifique unas propuestas o conclusiones, y luego además es necesario diseñar una versión muy simplificada de ese modelo para que podamos exponer con claridad en pocos minutos que las conclusiones no se derivan de opiniones personales sino de una valoración rigurosa de diferentes alternativas. Algunos trabajos recientes (Ghaffarzadegan, 2009) aportan ejemplos de este proceso de síntesis de un modelo amplio en otro que se pueda presentar a un equipo de gestión.

Esta situación no se presenta en otros modelos de simulación dentro de la empresa, como los de gestión de la producción, donde la persona responsable exigirá poder conocer con detalle la estructura del modelo, los valores que se han tomado, la fuente de los datos, las simulaciones que justifican la propuesta e incluso se interesará por la facilidad de uso y de su actualización futura.

Este trabajo ilustra con un ejemplo el proceso completo de utilización de los modelos de simulación con Dinámica de Sistemas dentro de la empresa en un tema específico de gestión, como es la prevención de accidentes laborales, prestando especial atención a la necesidad de ofrecer a los gestores unas conclusiones claras y basadas en un modelo simple de simulación.

El proceso se inicia con la definición precisa del problema (el riesgo de accidentes), sigue con recoger las opiniones de los expertos en un diagrama causal, trasladar ese diagrama a un modelo de simulación, completar el modelo con los valores de las variables, y ver su evolución a lo largo del tiempo para llegar a unas conclusiones o recomendaciones convincentes. Es interesante hacer notar que en ocasiones el propio diagrama causal ya nos aporta suficiente información sobre la estructura del problema que nos permite llegar a ofrecer unas conclusiones sólidas (Senge, 1990, Kim, 1992, Marais, 2006).

En el campo de la seguridad laboral o prevención de riesgos de accidentes existe un trabajo reciente (Miang, 2010) con una recopilación y selección de aquellos otros con aportaciones más interesantes. Muchos de los trabajos publicados analizan accidentes que han ocurrido y por lo tanto son aspectos muy particulares. Para nuestro propósito (ilustrar como llegar a ofrecer unas conclusiones basadas en un modelo de simulación simple) se ha seleccionado un interesante trabajo (Cooke, 2006) que recoge una visión genérica de riesgo y los accidentes laborales basada en las opiniones de los expertos del tema. No obstante, sería difícil poder exponer este trabajo en unos pocos minutos debido a que el tamaño del modelo de simulación es de unas cuarenta variables. Así pues tomando los conceptos y opiniones de expertos recogidas en este trabajo vamos a utilizarlo como base para exponer un caso que ilustre el proceso completo de aplicación de los modelos de simulación con Dinámica de Sistemas al campo de la gestión empresarial.

## **1. DESCRIPCIÓN DEL CASO**

Una empresa de transporte no ha tenido accidentes graves aunque sí muchos pequeños accidentes, y desea conocer el posible impacto en materia de seguridad laboral de un simulacro de un accidente grave, dado el alto coste económico del simulacro. Este trabajo trata de ampliar información sobre las respuestas de una empresa en materia de riesgos laborales. Para ello se construye un modelo de dinámica de sistemas que recoge un simulacro de accidente grave. La estructura causal del modelo se determina en varias reuniones con los expertos en seguridad laboral de una empresa de transportes de mercancías peligrosas quienes determinan unas

trayectorias de referencia. El modelo de simulación permite verificar en qué grado son ciertas las trayectorias de referencia. Para ello se elabora un modelo de simulación que permita confirmar, o no, las expectativas de los expertos en riesgos laborales de la empresa sobre los resultados prácticos en materia de seguridad laboral que se obtendrán de la realización del simulacro de accidente. En varias reuniones con los expertos se concretan los elementos claves que intervienen en la seguridad de la empresa, así como las relaciones que existen entre ellos. También se recogen en forma gráfica las expectativas de los expertos sobre los resultados prácticos del simulacro (figura 1). Los expertos opinan que después de hacer el simulacro de accidente se va a producir un mayor interés en temas de seguridad por parte de los gestores y directivos de la empresa; también, va a aumentar el interés de los empleados en temas de seguridad aunque esta reacción sólo será transitoria, y como consecuencia de ello se reducirá el nivel de riesgo de accidentes se reducirá pero sólo durante un cierto periodo de tiempo, regresando pronto al nivel de riesgo actual. La figura 1 recoge la evolución temporal esperada después hacer del simulacro en el mes sexto de algunas variables críticas para los expertos.

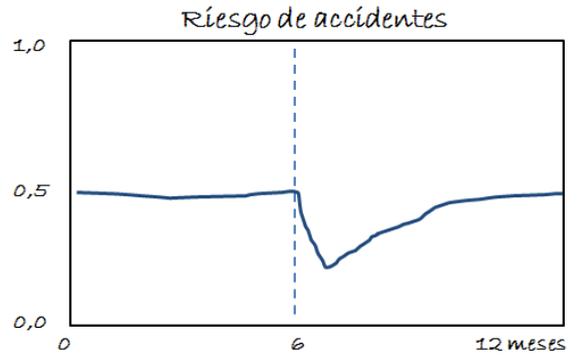


Figura 1

## 2. DIAGRAMA CAUSAL

En resumen (figura 2), un mayor interés en temas de seguridad de los gestores hace que aumenten los recursos dedicados a seguridad (como por ejemplo mejoras en mantenimiento de los sistemas, políticas activas de seguridad, más personal en el área de análisis de riesgos, etc.), lo que disminuye el riesgo de accidentes. Los primeros ciclos de retroalimentación (ver figura 2) surgen cuando una mayor implicación en temas de seguridad de los gestores impulsa que aumenten los recursos dedicados a seguridad, como mejoras en mantenimiento de los sistemas, políticas activas de seguridad, más personal en el área de análisis de riesgos, etc., lo que disminuye el riesgo de accidentes.

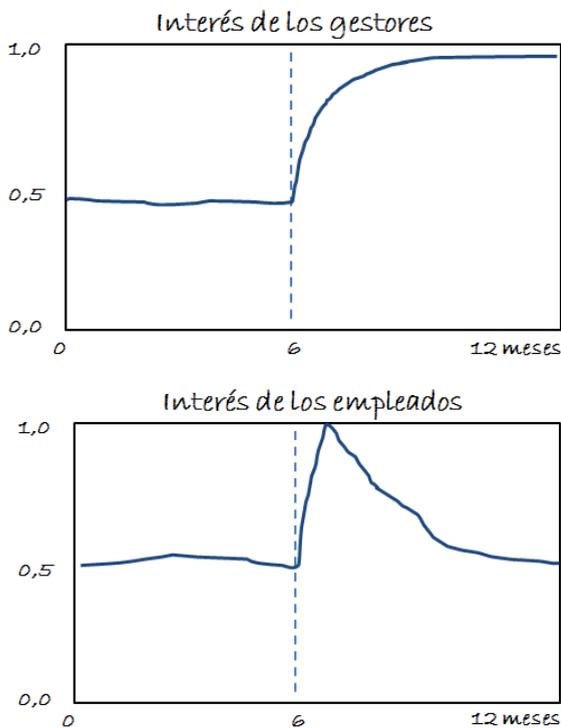


Figura 2

Los mayores recursos dedicados a la seguridad aumentan las alertas de seguridad ya que hay más mediciones de todo tipo. A su vez, el aumento de las alertas potencia el interés de los gestores en la seguridad. Finalmente, a mayores recursos dedicados a seguridad, mayores serán los costes, y esto es un freno para el interés de los gestores en la seguridad.

Por otra parte, una pieza clave en los temas de seguridad son los empleados, ya que viven el riesgo de forma directa. Un mayor riesgo de accidentes se traduce en más accidentes leves, de los que se informa a los empleados alertándoles de los problemas que se manifiesta en el aumento de su interés en temas de seguridad. Consecuentemente, los empleados aumentan sus conocimientos ya sea debido a la formación o la experiencia, lo que disminuye el riesgo de accidentes. Representando estos elementos y relaciones se observa como existe un bucle de signo negativo, es decir, estabilizador, ya que un aumento de riesgo provoca un aumento de accidentes leves, lo que motiva a los empleados una mejora de sus conocimientos con la consiguiente disminución del riesgo.

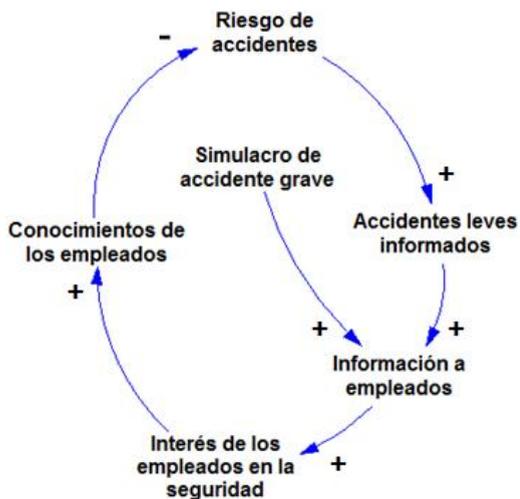


Figura 3

Existe un aspecto adicional a tener en cuenta relacionado con los empleados, ya que estos son los encargados de facilitar información sobre los accidentes, en especial los leves. Así, como muestra

la figura 4, un aumento de los accidentes leves publicitados requiere recursos adicionales en materia de seguridad para investigar las causas del accidente, valorar su importancia, proponer medidas preventivas y correctivas, etc.



Figura 4

La percepción de una mayor necesidad de recursos dedicados a la seguridad hace que se aprueben nuevas inversiones en equipos de seguridad y por lo tanto aumenten los recursos disponibles, lo que envía un mensaje a los empleados sobre la importancia que la empresa otorga a los temas de seguridad. No obstante los empleados van a percibir la importancia de los temas de seguridad si los recursos dedicados a temas de seguridad son iguales a los que se consideran necesarios. Por ese motivo existe una relación de signo negativo, ya que una mayor necesidad de recursos provoca una menor importancia percibida por los empleados en la medida que los recursos dedicados a seguridad sean menores que los recursos necesarios.

Podemos integrar los elementos y relaciones comentadas en un único diagrama causal, como el que se muestra a continuación (figura 5). La mayoría de elementos son variables cualitativas, a las que se asigna el valor inicial de 0,5 para recoger la situación actual. El horizonte temporal es de 12 meses y el impacto de un simulacro de accidente laboral grave se lleva a cabo en el periodo 6.

### 3. CALIBRACION DEL MODELO

El diagrama causal completo del modelo está formado por doce elementos relacionados entre sí linealmente, lo que ha de permitir comprender y explicar con mayor facilidad su funcionamiento y resultados.

Para simular el simulacro de accidente se utiliza la función PULSE que se activa en el periodo sexto, donde pasa del valor 0 al 1. Para evitar que el nivel de riesgo de accidentes sea cero o negativo en algún momento, lo cual no sería realista, se usa la función IF THEN ELSE de forma que si el riesgo es menor de 0,2 y el impacto de los conocimientos y los recursos dedicados a seguridad tienden a hacerlo a disminuir aún más, la variación del riesgo es nula.

### 4. RESULTADOS DE LA SIMULACION

El modelo permite encontrar la evolución de las variables y analizar las causas de los cambios que se producen tras el simulacro de un accidente laboral grave en el periodo 6 a través de los cambios en los valores iniciales de las variables (0,5).

**4.1. El número de accidentes leves notificados aumenta tras el simulacro.** La causa se halla en que el interés en temas de seguridad de los empleados aumenta, ya que son mucho más meticulosos en informar de cualquier accidente leve, a pesar de que el riesgo ha disminuido tras el simulacro porque han aumentado los recursos destinados a seguridad.

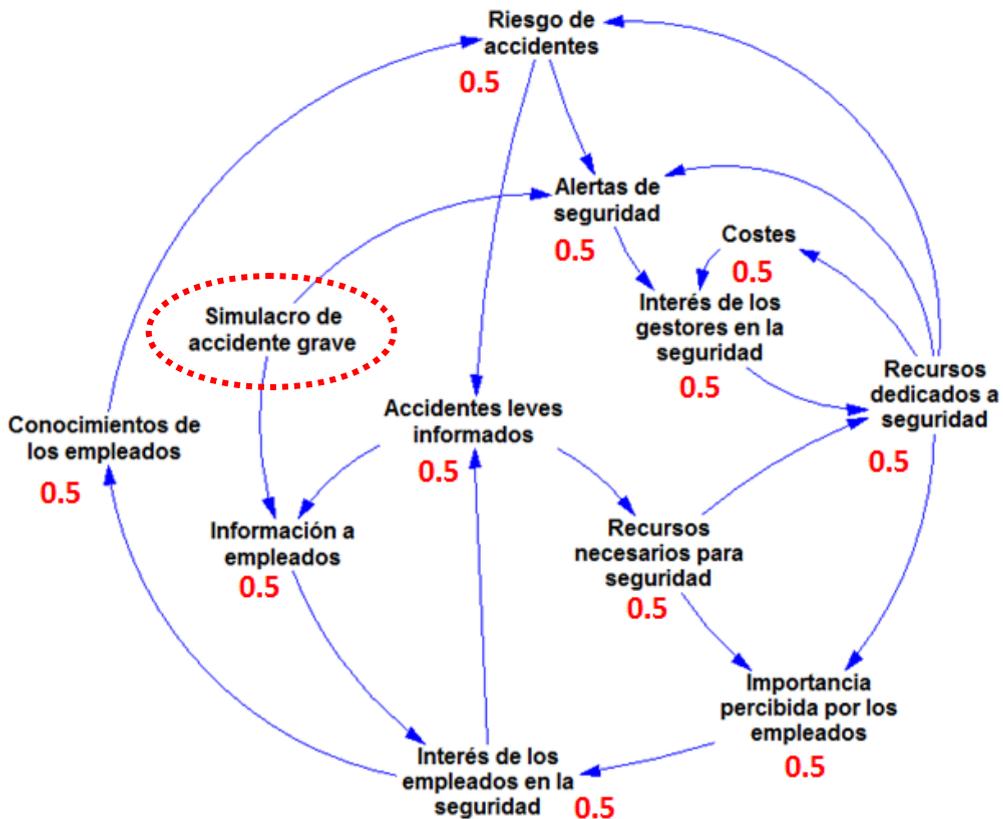


Figura 5

Se puede observar la evolución de estas variables (figura 6), donde la evolución del riesgo (A) disminuye debido a mayores recursos a seguridad, y en cambio el interés de los empleados en seguridad (B) aumenta debido a la mayor información sobre riesgos por el mayor número de accidentes informados.

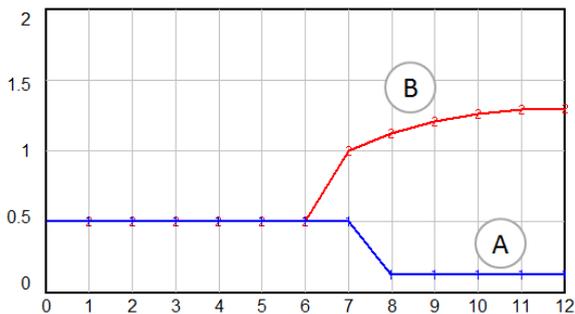


Figura 6

Por otra parte, debido a que los accidentes leves informados aumentan, también lo hace la información sobre riesgos laborales que reciben los empleados y con ello su interés en los temas de seguridad laboral, lo cual se traduce en mejores conocimientos de los riesgos, y como consecuencia hay una reducción adicional en el nivel de riesgo.

**4.2. Las alertas en seguridad disminuyen tras el simulacro** de accidente laboral (figura 7) debido a que el riesgo (A) disminuye. Este resultado se produce como consecuencia del aumento de los recursos para seguridad (B) en relación al valor inicial, y de una mejor organización y eficacia de los recursos disponibles, de acuerdo a las conclusiones que los expertos obtienen en el simulacro.

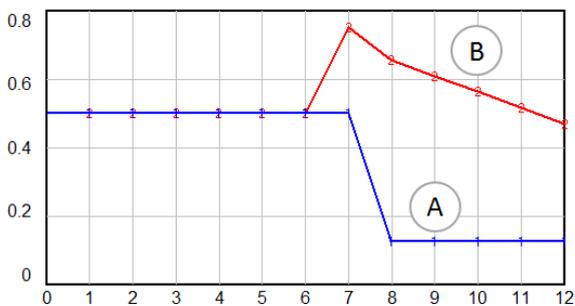


Figura 7

**4.3. El interés de los gestores en la seguridad (A)** tiene una evolución similar, como muestra la figura 8, al riesgo percibido por ellos a través de las alertas de seguridad (C), de forma que alcanza un valor máximo cuando se lleva a cabo el simulacro de accidente en el mes 6, y después va disminuyendo progresivamente hasta alcanzar valores inferiores al inicial ya que cada vez la cifra de alertas es menor, de forma que se adapta al nivel de riesgo (B).

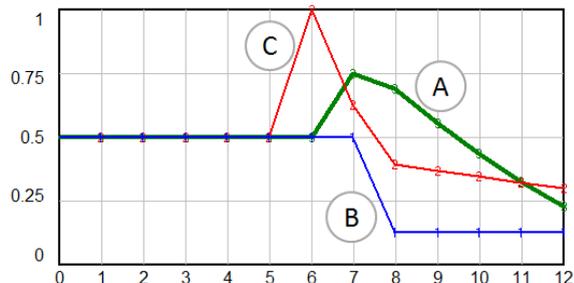


Figura 8

**4.4. No obstante (figura 9) el interés en temas de seguridad de los empleados (A) se mantiene elevado tras el simulacro** e incluso podemos observar que va aumentando progresivamente. Este comportamiento poco intuitivo se debe a la diferente dinámica de algunas variables, así, el interés de los empleados depende en gran medida de la información que reciben de los accidentes que ellos mismos notifican.

El simulacro de accidente grave hace aumentar el nivel de información a los empleados, lo que aumenta su interés por la seguridad (A), y esto aumenta la cifra de accidentes leves informados (B), que aumenta la cantidad de información que reciben (C) en un bucle. Este proceso solo se ve frenado por la negativa evolución del parámetro importancia percibida por los empleados, debido a que los recursos dedicados a seguridad suelen ser menores que los recursos necesarios en la medida que el interés de los gestores va disminuyendo.

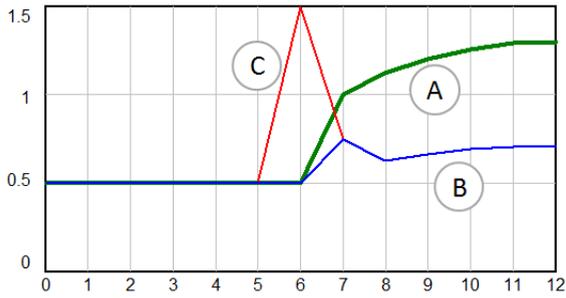


Figura 9

En este punto, aunque sea un ejercicio teórico, es importante comparar (figura 10) las expectativas previas de los expertos en seguridad de la empresa (A) con los resultados que muestra el modelo (B). En ocasiones los modelos confirman las expectativas previas, pero con frecuencia en los sistemas sociales se producen los conocidos como comportamientos contra-intuitivos, de forma que el modelo muestra una evolución diferente de las expectativas previas. En este caso, después de revisar que el funcionamiento del modelo sea correcto, podemos seguir paso a paso donde se origina el comportamiento del modelo y compararlo con las expectativas, para lograr así un conocimiento más profundo de la realidad. Siempre ha de ser posible analizar con detalle los resultados del modelo ya que las hipótesis utilizadas son las que han aportado los expertos y el modelo no es una caja negra para los expertos que han participado en su diseño.

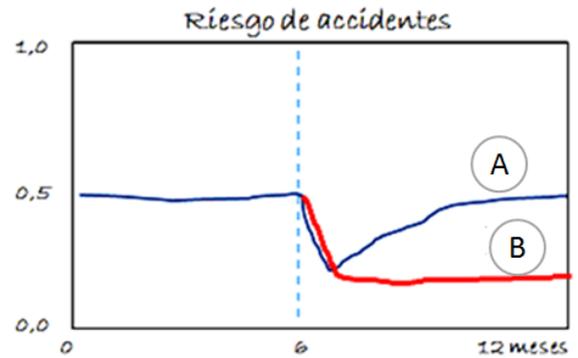
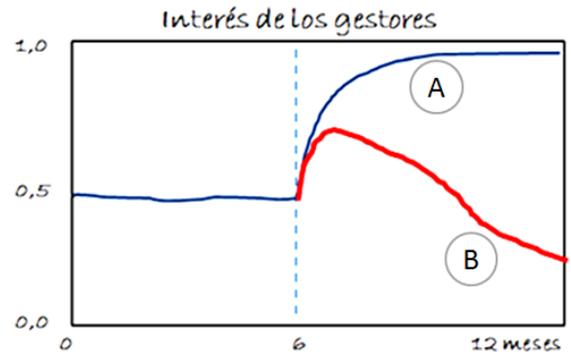
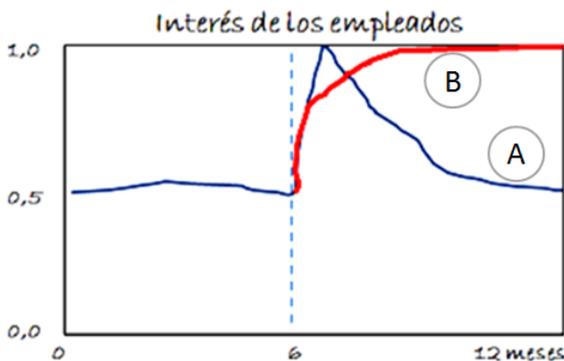


Figura 10

Este modelo es un ejemplo de la potencia que tienen los diagramas causales y los modelos de simulación de dinámica de sistemas para analizar las dinámicas relacionadas con riesgos laborales, prevención de accidentes, mejoras continuas en la cultura de la seguridad, etc.

## 5. CONCLUSIONES

El modelo de simulación elaborado en base a los expertos permite observar que **tras un simulacro de accidente laboral grave, el riesgo de accidentes disminuye de forma prolongada**. Si bien el interés en temas de seguridad de los gestores aumenta solo durante un breve tiempo, el de los empleados puede aumentar de una forma mucho más prolongada. Los resultados del modelo muestran (figura 11) como tras un simulacro de accidente el interés de los gestores (A) va a ir disminuyendo porque perciben un menor riesgo como consecuencia de las medidas de seguridad existentes, mientras que los empleados van a aumentar su interés en temas de seguridad (B) en gran parte debido a que es un proceso que se realimenta a través de la información que reciben sobre accidentes leves.



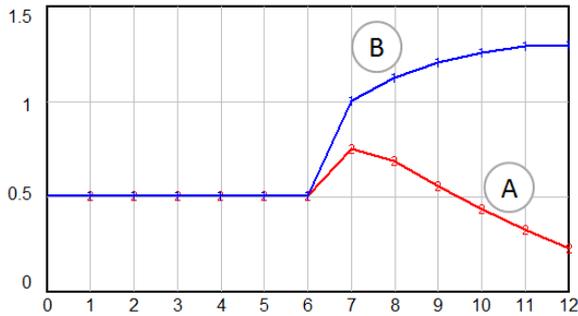


Figura 11

Así pues la conclusión del trabajo sería la recomendación de realizar el simulacro de accidente, ya que se reduce a corto y medio plazo el riesgo de accidentes, teniendo presente la necesidad de vigilar el proceso que realimenta el interés de los empleados en los temas de seguridad laboral, para ello hay que crear una estructura ágil que facilite el funcionamiento de bucle de realimentación que relaciona este interés, con la información de accidentes leves, y la información de los accidentes informados. Para facilitar la dinámica de este bucle hay que tomar medidas impulsoras del mismo (un sistemas de información sencillo y ágil, incentivos económicos, etc.) y medidas que disminuyan los posibles frenos a su funcionamiento (penalizaciones, multas o despidos por accidentes informados).

## 6. REFERENCIAS

Cooke, D. et al [1] (2006). Learning from incidents: from normal accidents to high reliability. *System Dynamics Review* 22, 213–239.

Ghaffarzadegan, N. et al [2] (2009). Why and How Small System Dynamics Models Can Help Policymakers. *International Conference of the System Dynamics Society*. Albuquerque, NM, USA.

Kim, D. H. et al [1] (1992). System Archetypes as a Diagnostic Tool: A Field-based Study of TQM Implementations. *International Conference of the System Dynamics Society*. Utrecht, Netherlands.

Marais, K., et al [2] (2006). Archetypes for organizational safety. *Safety Science*, 44, 565-582.

Miang, Y. et al [2] (2010) System Dynamics Analysis of Organizational Accidents: A Review of Current Approaches. *International Conference of the System Dynamics Society*. Seoul. Korea

Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, London, Century Business

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill.

## 7. CURRICULUM

Juan Martín García es Doctor Ingeniero Industrial en Organización de Empresas por la UPC (España) y Diplomado por la Sloan School of Management del MIT (USA), miembro del Comité de selección de ponencias de la System Dynamics Society posee más de 30 años de experiencia en el campo de la creación de modelos de simulación Dinámica de Sistemas.



Dirige una empresa consultora en temas de gestión que ayuda a desarrollar planes estratégicos para empresas, instituciones y organismos públicos. Alguno de los trabajos más recientes han sido hechos para Petrobrás, REPSOL, YPF, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador, Dirección General de Turismo de la Generalitat de Catalunya, Departamento de Salud del Gobierno Vasco, y el CIEMAT Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

Es colaborador de la Cátedra UNESCO en Sostenibilidad de la Universitat Politecnica de Catalunya en Barcelona, España, y también en otras universidades españolas (como las universidades de Deusto, País Vasco y de Lleida) y latinoamericanas (como el Colegio de Postgraduados de México o la Universidad de Panamá).

Es autor de varios libros sobre modelos de simulación con Dinámica de Sistemas para uso docente y profesional.

Información en: [www.dinamica-de-sistemas.com](http://www.dinamica-de-sistemas.com)

## Libros

## Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



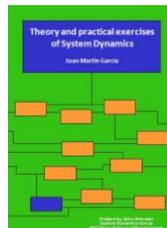
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)