

REVISTA DE DINAMICA DE SISTEMAS

Análisis del impacto ambiental de los residuos sólidos en proyectos de exploración minera

Nina Sonkollay Delgado Pareja

ninasonkollay@yahoo.es



<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>

Vensim <http://www.atc-innova.com/>



- Memoria del PFC -



Diplomado de Experto en Creación de Modelos de Simulación
Ambiental

Proyecto de Fin de Curso

**Aplicación de un Modelo Dinámico en la Evaluación de
Impactos Ambientales en Proyectos de Exploración Minera-
Caso Proyecto Minero Racaycocha-Departamento de Ancash**

**Caso Específico: Análisis del Impacto Ambiental de los
Residuos Sólidos en Proyectos de Exploración**

Nina Sonkollay Delgado Pareja

Febrero 2015

1. RESUMEN

En la presente memoria se muestra a través de Dinámica de Sistemas el análisis del impacto de los residuos asociados a las actividades de perforación del Proyecto de Exploración Minero Racaycocha.

Para la elaboración del modelo dinámico se utilizó el software Vensim y de esta manera evaluar su comportamiento.

El modelo integra los diversos componentes participantes, tales como: trabajadores, recolección de residuos, manejo de insumos, almacén temporal de residuos y rellenos sanitarios.

2. SUMMARY

Here in is shown through System Dynamics analysis of the impact of the waste associated with drilling activities Mining Exploration Project Racaycocha.

The Vensim software is used to design the dynamic model and thus evaluate its performance.

The model integrates the various participants, such components as: workers, garbage collection, managing supplies, temporary storage of waste and landfills.

3. INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos comprenden todos los desechos provenientes de las actividades humanas y animales, por lo tanto se puede decir que los residuos sólidos son una consecuencia de la vida, de modo que la proporción en la que esta aumenta afecta directamente la producción de residuos.

Por lo antes expuesto, el impacto de los residuos en proyectos de exploración minera, son un efecto propio de dicha actividad, de modo que al aumentar la cantidad de metros a perforar, se utilizarán más trabajadores y más insumos para el desarrollo de dicha actividad y por ende la generación de residuos sólidos aumentará y sin un adecuado manejo de dichos residuos, el impacto sobre el ambiente puede verse alterado.

4. CAPITULOS DE LA MEMORIA

4.1 Marco Teórico

4.1.1 Residuos Sólidos en el Perú

La Ley General de Residuos Sólidos – Ley N° 27314, establece que la gestión y el manejo de los residuos sólidos de origen industrial, agropecuario, agroindustrial o de instalaciones especiales, que se realicen dentro del ámbito de las áreas productivas e instalaciones industriales o especiales utilizadas para el desarrollo de dichas actividades, son regulados, fiscalizados y sancionados por los ministerios u organismos regulatorios o de fiscalización correspondientes¹.

Los Residuos Sólidos² son aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido, incluidos los residuos generados por eventos naturales, de los que su generador dispone, o está obligado a disponer y disponer, por los riesgos que causan a la salud y el ambiente, a través de las siguientes operaciones o procesos:

- Minimización de residuos.
- Segregación en la fuente.
- Reaprovechamiento.
- Almacenamiento.
- Recolección.
- Comercialización.
- Transporte.
- Tratamiento.
- Transferencia.
- Disposición final.

4.1.2 Residuos Sólidos en el Sector Minero Peruano³

En la última década la preocupación por el deterioro ambiental y de salud a causa de los problemas que originan los residuos industriales peligrosos (sector minería e hidrocarburos) ha ido en aumento. Una adecuada gestión y control en el tratamiento de los residuos sólidos peligrosos es de prioridad, pues no se formulan soluciones coherentes a las normas intersectoriales propuestas en nuestro país.

Económicamente, el sector del manejo de residuos sólidos industriales peligrosos muestra un sostenido crecimiento en los últimos años desde la publicación de la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos (2000), normas modificatorias y complementarias, las cuales

¹Artículo 6 de la Ley General de Residuos sólidos.

²Artículo 14 de la Ley General de Residuos Sólidos.

³ Uzuriaga Valverde L., Estudio de Pre-factibilidad para la instalación de un relleno sanitario de seguridad para el tratamiento y disposición de residuos sólidos industriales peligrosos en el botadero de Reque –Chiclayo, Universidad Católica del Perú, Lima 2013.

regulan la disposición de residuos y facultan a las empresas a brindar estos servicios como EPS-RS. Las estadísticas registran volúmenes de generación de 107 kt en el 2005, de 133 kt en el 2010 y de disposición de 7.5 kt y 28.3 kt respectivamente. Precisamente, las industrias que generan los mayores volúmenes de residuos industriales peligrosos (mediana y gran minería e hidrocarburos) han incrementado su producción, así como sus proyectos de exploración y explotación, sobre todo en la zona norte del país en las regiones: Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Cajamarca, Amazonas, San Martín, Loreto, Ancash y Huánuco.

Por su parte, el gobierno ha centralizado la fiscalización ambiental vinculada al manejo de residuos sólidos al Ministerio de Ambiente, que generará el incremento de la demanda por servicios de este tipo. Hasta el momento, Befesa Abengoa, empresa trasnacional, es la única en brindar servicios en Perú a través de Befesa Perú S.A., que cuenta con un relleno de seguridad en el distrito de Chilca (Cañete), cuya capacidad de atención no satisface la demanda total, lo que genera una demanda insatisfecha importante en las zonas alejadas a Cañete. Esta empresa afronta además conflictos sociales debido a la escasa transparencia en la ejecución de sus recientes actividades en la implementación de su proyecto en San Pedro de Lloc (La Libertad).

4.1.2.1 Problemática actual del sector del manejo de residuos sólidos

La problemática del manejo de los residuos sólidos industriales proviene de diferentes aspectos presentes en la dinámica del sector (Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de España, 2012; MINAM, 2012).

Normativa y control gubernamental

- Industria en etapa de crecimiento desde que surgió en el 2004, según las proyecciones de demanda y oferta; a partir del año 2012 entrará en etapa de madurez y para el año 2023 se iniciará la etapa de declive.
- Escaso e insuficiente marco legal para el manejo de residuos sólidos industriales, solo existe una normativa específica para el transporte de residuos peligrosos.
- Insuficiente capacidad del Estado para el control del cumplimiento de las obligaciones derivadas de la generación y gestión de los residuos.
- Nulos estímulos fiscales y económico-financieros para las organizaciones que manejen adecuadamente sus residuos sólidos.

Gestión Ambiental

- Bajo y/o escaso nivel de re-utilización, reciclaje o valorización de los residuos.

- Limitado uso de tecnologías y sistemas para reducir la generación de residuos.
- Escaso conocimiento respecto a la responsabilidad de los generadores y la necesidad de gestionar los residuos industriales.
- Existen empresas privadas multinacionales que realizan el manejo de residuos sólidos respetando normas en algunos países y contraviniendo éstas en otros.

4.1.3 Proyecto Racaycocha

El Proyecto de Exploración Minera Racaycocha comprende la perforación diamantina en 350 nuevas plataformas. El Proyecto estará ubicado en las concesiones mineras “Racaycocha”, “Racaycocha 2” y “Bayococha”, localizado en la provincia de Sihuas, en el departamento de Ancash, Perú.

Este proyecto tendrá una duración de 41 meses, tiempo requerido que se solicita como parte de la Cuarta Modificación del Estudio de Impacto Ambiental Semidetallado (EIA-Sd) que se presenta.

Asimismo en el proyecto se realizará las siguientes actividades:

- Construcción de 02 pozas para la disposición de lodos de perforación (pozas madre).
- Construcción de 02 pozas para disposición de agua proveniente de la decantación de los lodos de las pozas madre (pozas auxiliares).
- Construcción de 38.01 km de accesos internos.
- Construcción de un Tanque Séptico.
- Construcción de 01 Depósito de residuos orgánicos domésticos.
- Adecuación de 02 Plataformas de Almacenamiento y Bombeo de agua.
- Almacén de aditivos.
- Almacén temporal de combustible.

4.1.3.1 Residuos Sólidos en el Proyecto de Exploración Minera Racaycocha

Durante las actividades de perforación se generarán diversos materiales de residuos que serán dispuestos apropiadamente. Estos materiales desechables incluyen los residuos domésticos (papeles, desechos de comida, etc.), residuos industriales a domésticos (desechos inertes de la construcción, bidones, bolsas de polipropileno, mangueras, desechos de caucho, filtros de aire, etc.) y residuos peligrosos como trapos con hidrocarburos, filtros de aceites o suelos contaminados con aceite o combustible.

Volúmenes estimados

- Residuos no peligrosos

- *Domésticos*

Considerando una tasa de generación promedio de residuos sólidos domésticos 0,3 kg/hab/día (Análisis Sectorial del Residuos, DIGESA, OPS, CEPIS, zonas rurales) se determinó que durante la etapa de operación del Proyecto, con treinta y cinco (35) trabajadores, en un promedio mensual, se generará un total de 315 kg. Asimismo, los residuos sólidos orgánicos domésticos equivalen a un 50% de los residuos sólidos generados de manera doméstica.

- *Industriales*

Se ha definido como residuos industriales a las piezas metálicas, tubos PVC, cables, llantas, geomembranas, que serán depositados en el almacén temporal del campamento para luego ser trasladados hacia su disposición final en un relleno de seguridad autorizado. El estimado promedio mensual de residuos industriales es de 50 kg.

- Residuos peligrosos

En cuanto a los residuos peligrosos, se generará un aproximado de 3 295.58 Kg/mes para 10 máquinas operativas. Los residuos peligrosos mencionados de acuerdo al manejo de la empresa se clasifican en tres tipos:

- Sólidos impregnados, conformado por envases de aditivos vacíos, productos de limpieza vacíos, paños, trapos impregnados de hidrocarburos, entre otros., la cantidad mensual aproximada es de: 2662.13 kg/mes.
 - Aceites usados o combustible sucio: 609.48 kg/mes.
 - Tierra contaminada: 23.98 kg/mes.

Tabla 1. Generación de residuos sólidos mensuales en el proyecto

Tipo de Residuos	Cantidad (kg)/ mes
No Peligrosos- Domésticos	315
No Peligrosos-Industriales	50
Peligrosos (para 10 máquinas operativas)	3 295
Total	3 661

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Materiales

Para el desarrollo del siguiente estudio se utilizó el siguiente material:

- Laptop, marca Lenovo, Windows 7, Intel CORE I5
- Programa VENSIM PLE

4.2.2 Métodos

El presente estudio tiene un carácter descriptivo y analítico, consta de 4 fases:

- Fase 1: Análisis de la metodología utilizada para la evaluación de impactos ambientales del Proyecto Minero Racaycocha.
- Fase 2: Búsqueda Bibliográfica sobre evaluación de impactos ambientales utilizando un modelo dinámico.
- Fase 3: Identificación de variables para el desarrollo del modelo dinámico.
- Fase 4: Desarrollo del modelo dinámico.

4.2.2.1 Caso de Estudio

Los residuos sólidos de un proyecto de exploración provienen principalmente de los residuos generados por los trabajadores y los insumos que se generan por la perforación, con respecto a los insumos, estos también durante su manejo pueden generar derrames y por ende impacto en el suelo y si hubiera un cuerpo de agua cercano, impacto sobre el mismo.

Asimismo, estos residuos son almacenados temporalmente, sin embargo durante su almacenamiento, recolección y transporte si no existe un buen manejo puede generarse un impacto sobre el suelo o agua, asimismo, estos residuos son clasificados en dos partes, residuos no peligrosos y peligrosos, de los primeros (no peligrosos) también se dividen en orgánicos e inorgánicos, con respecto a los orgánicos su disposición final será en una trinchera sanitaria ubicado en el mismo proyecto, en el caso de los residuos inorgánicos, estos son transportados hacia un relleno sanitario autorizado, sin embargo antes de su disposición final, se clasifican o segregan aquellos residuos que serán reciclados.

En el caso de los residuos peligrosos son conducidos hacia un relleno de seguridad autorizado, sin embargo, al igual que los residuos no peligrosos inorgánicos, se clasifican y segregan aquellos residuos que pueden ser reciclados.

En caso que durante su disposición final, ya sea en la trinchera sanitaria, relleno sanitario y relleno de seguridad, no se tenga un adecuado manejo de los residuos dispuestos, estos pueden generar lixiviados y emisión de gases, los cuales generarán un impacto en el suelo y el agua y por ende alterarán la calidad ambiental del entorno afectando a la población aledaña y a la fauna y flora existente en la zona.

En base a lo antes explicado, se plantea el modelo del impacto de los residuos generados en las actividades de proyectos de exploración minera.

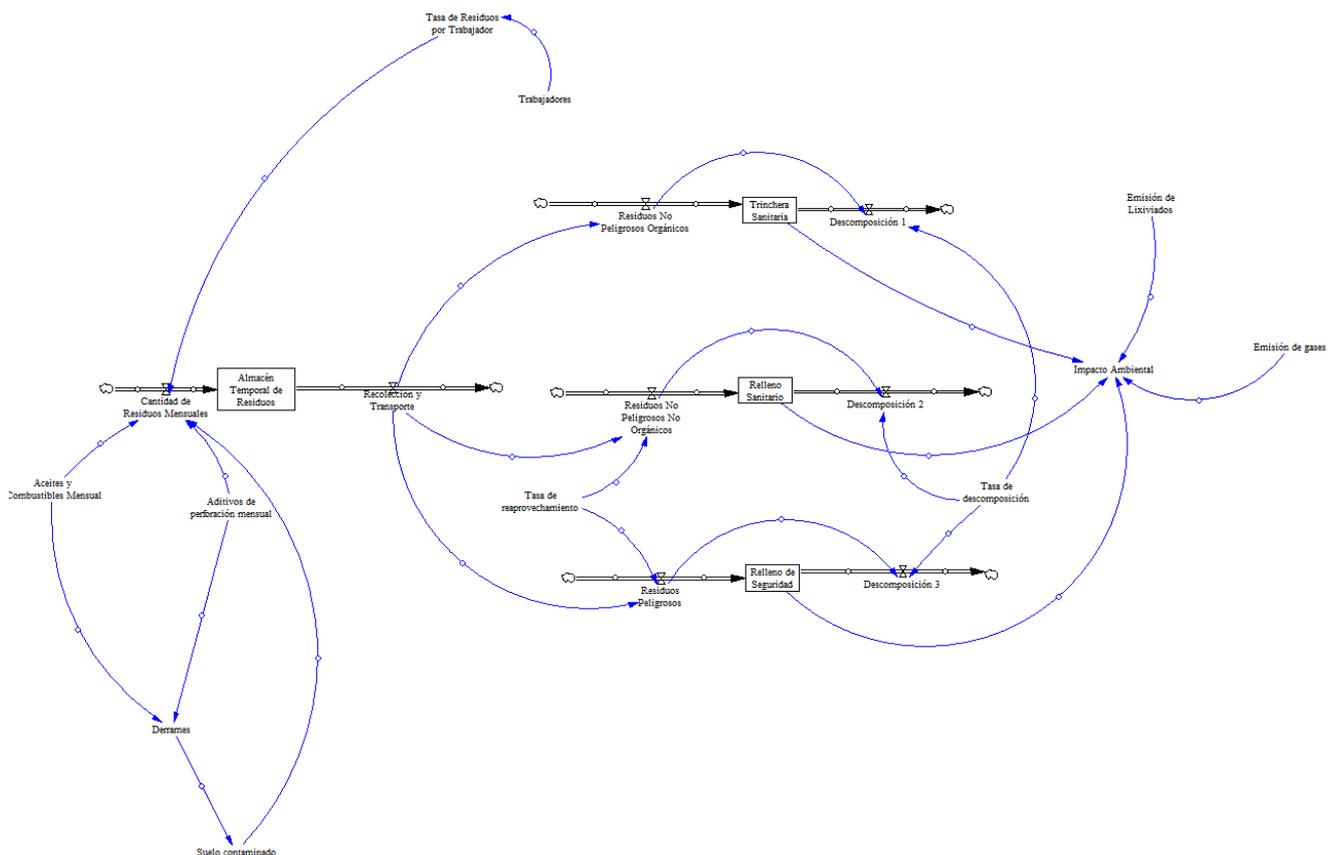
4.2.2.2 Simulación

Una vez se cuenta con las relaciones establecidas, se realizó una investigación para determinar los parámetros que se incluiría en la simulación. Por medio del software Vensim, se realizó la simulación del comportamiento del sistema para un año (meses), con un cambio periodo a periodo, lo que permitió realizar el análisis y la evaluación del impacto de los parámetros que permiten observar el comportamiento del impacto de los residuos.

4.2.2.3 Formulación general

A continuación se presenta en la siguiente figura el diagrama del problema presentado, con la formulación más importante del mismo:

Figura 1. Diagrama del problema



- **Variables de Nivel**

- **Almacén Temporal de Residuos:** Representa el Almacén Temporal de Residuos, donde se recolectan los residuos peligrosos y no peligrosos que se generan en el Proyecto Racaycocha.

Las variables **Cantidad de Residuos Mensuales, Recolección y Transporte**, son los factores que influyen en este nivel.

Almacén Temporal de Residuos = Cantidad de Residuos Mensuales-Recolección y Transporte

Valor inicial = 3 661

Unidad = kg

Toda la cantidad de residuos mensuales generados serán recolectados, luego serán dispuestos temporalmente en un almacén, para luego ser recolectados (según clasificación) y transportados a su disposición final.

- **Trinchera Sanitaria:** Representa la capacidad de la trinchera para disponer los residuos no peligrosos orgánicos.

Las variables **Residuos No Peligrosos Orgánicos y Descomposición 1**, son los factores que influyen en este nivel.

Trinchera Sanitaria = Residuos No Peligrosos Orgánicos – Descomposición 1

Valor inicial = 0

Unidad = kg

- **Relleno Sanitario:** Representa la capacidad del relleno sanitario para disponer los residuos no peligrosos inorgánicos.

Las variables **Residuos No Peligrosos Inorgánicos y Descomposición 2**, son los factores que influyen en este nivel.

Trinchera Sanitaria = Residuos No Peligrosos Orgánicos – Descomposición 2

Valor inicial = 0

Unidad = kg

- **Relleno de Seguridad:** Representa la capacidad del relleno de seguridad para disponer los residuos peligrosos.

Las variables **Residuos No Peligrosos Inorgánicos y Descomposición 3**, son los factores que influyen en este nivel.

Trinchera Sanitaria = Residuos No Peligrosos Orgánicos – Descomposición 3

Valor inicial = 0

Unidad = kg

- **Variables de Flujo**

- **Cantidad de Residuos Mensuales:** Representa la cantidad de residuos generados en el Proyecto Racaycocha

Cantidad de Residuos Mensuales = Tasa de Residuos por Trabajador*trabajadores*30 + (Aceites y Combustibles Mensual + Aditivos de perforación Mensual)*9.30% + Suelo Contaminado

Unidad = kg/mes

- **Recolección y Transporte:** Representa la cantidad de residuos generados que van a ser trasladados mensualmente hacia su disposición final

Recolección y Transporte= 3661

Unidad = kg/mes

- **Residuos No Peligrosos Orgánicos:** Representa la cantidad de residuos generados que van a ser trasladados mensualmente hacia su disposición final en la trinchera sanitaria

Residuos No Peligrosos Orgánicos = Recolección y Transporte*0.043

Unidad = kg/mes

- **Descomposición 1:** Es el flujo de salida del nivel Trinchera, representando el deterioro de los residuos.

Descomposición = Tasa de descomposición*30*Residuos No Peligrosos Orgánicos

Unidades = Kg/mes

- **Residuos No Peligrosos Inorgánicos:** Representa la cantidad de residuos generados que van a ser trasladados mensualmente hacia su disposición final en el relleno sanitario.

Residuos No Peligrosos Inorgánicos = ((Recolección y Transporte)*0.057)*(1-Tasa de reaprovechamiento*30)

Unidad = kg/mes

- **Descomposición 2:** Es el flujo de salida del nivel Relleno Sanitario, representando el deterioro de los residuos.

Descomposición = Tasa de descomposición*30*Residuos No Peligrosos Inorgánicos

Unidades = Kg/mes

- **Residuos Peligrosos:** Representa la cantidad de residuos generados que van a ser trasladados mensualmente hacia su disposición final en el relleno de seguridad.

Residuos Peligrosos = ((Recolección y Transporte)*0.900)*(1-Tasa de reaprovechamiento*30)

Unidad = kg/mes

- **Descomposición 3:** Es el flujo de salida del nivel Relleno de Seguridad, representando el deterioro de los residuos.

Descomposición = Tasa de descomposición*30*Residuos Peligrosos

Unidades = Kg/mes

- **Variables auxiliares y constantes**

- **Aceites y Combustibles Mensual:** Generación de Aceites y Combustibles en el Proyecto Racaycocha.

Aceites y Combustibles Mensual = 25 590

Unidades = kg/mes

- **Aditivos de perforación mensual:** Cantidad de aditivos a utilizar en el Proyecto Racaycocha.

Aditivos de perforación mensual = 9 567

Unidades = kg/mes

- **Suelo Contaminado:** Este residuo se genera por la ocurrencia de un derrame.

Suelo Contaminado= Derrames*75%

Unidades = kg/mes

- **Derrames:** Se generan en la ocurrencia de un mal manejo de aditivos, aceites o combustibles.

Derrames = (Aceites y Combustibles Mensual + Aditivos de perforación mensual)*0.11%

Unidades = kg/mes

- **Tasa de Residuos por Trabajador:** Generación de residuos por trabajador en el Proyecto Racaycocha.

Tasa de Residuos por Trabajador = 0.3

Unidades = kg/día

- **Trabajadores:** Número de Trabajadores del Proyecto Racaycocha.

Trabajadores = 35

Unidades = trabajador

- **Tasa de reaprovechamiento:** Tasa del reaprovechamiento de residuos.

Tasa de reaprovechamiento = 0.2

Unidades = 1/día

- **Tasa de descomposición:** Tasa del aprovechamiento de residuos.

Tasa de Aprovechamiento = 0.05

Unidades = 1/día

- **Emisión de lixiviados:** Este es uno de los factores que influyen en la contaminación y es consecuencia principal de la disposición final de los residuos. Dado que en los artículos revisados no se encontró un valor exacto de este parámetro, sino valores que oscilaban entre 0.01 y 0.1 emisiones al día, por lo que se utilizó la función RANDOM para representarlo.

Emisión de lixiviados = RANDOM UNIFORM (0.01, 0.1, 0.001)

Unidades = 1/día

- **Emisión de gases:** Al igual que para el anterior parámetro, no se encontró un valor exacto sino varios que oscilaban entre 0.04 y 0.1.

Emisión de gases = RANDOM UNIFORM (0.04, 0.1, 0.001)

Unidades = 1/día

- **Impacto Ambiental:** Esta variable representa el nivel de impacto que generan la trinchera sanitaria, el relleno sanitario y el relleno de seguridad, en cuanto a los agentes más contaminantes como lo son las emisiones.

Impacto Ambiental = (Emisión de gases + Emisión de lixiviados)*(Trinchera Sanitaria + Relleno Sanitario + Relleno de Seguridad)

Unidades = Kg/mes

5. CONCLUSIONES

La metodología ofrecida por la Dinámica de Sistemas nos permite abordar el análisis del impacto ambiental de los residuos sólidos en los proyectos de exploración minera.

Los resultados que pretendemos mostrar, no son lineales en el tiempo, y no tienen la exactitud matemática directa, sino más bien, poseen una complejidad muy difícil de abordar en otros términos, más que con el criterio operativo, a los efectos de identificar las variables críticas del modelo, con el fin de encontrar un modo de gestión más eficaz y mostrando el impacto a corto, mediano y largo plazo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Honorato C. La simulación en Estudios de Impacto Ambiental-Caso del Sistema Bosque-Valle. Universidad Autónoma de Coahuila, México.
- Rendón L. y Osorio J. Modelo dinámico para evaluar el impacto del uso de materia prima reciclada en la industria papelera. Universidad del Valle.
- Sánchez-Santillán N. Simulación de escenarios en sistemas ecológicos de impacto ambiental y clima. Universidad Autónoma de México.
- García J. Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas. Barcelona, España. 2014.

Dinámica de Sistemas

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>



Vensim

<http://www.atc-innova.com/>

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



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



[Avanzado](#)



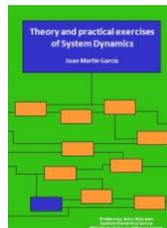
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



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



[English](#)



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



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)