

Protocolo de implementación  
del LMyS  
Implementación del Laboratorio  
de Modelamiento y simulación

Carlos Eduardo Maldonado Castañeda (Asesor)  
Francisco Fernando Ortega Urtado  
Iván Alfredo Mendoza Pulido  
Johann Heinz Martínez Huartos  
Liliana Adriana Mendoza Saboya  
Nelson Alfonso Gómez Cruz



**Protocolo de implementación del LMyS**  
Implementación del Laboratorio  
de Modelamiento y simulación  
Documento de Investigación No. 63

Carlos Eduardo Maldonado Castañeda (Asesor)  
Francisco Fernando Ortega Urtado  
Iván Alfredo Mendoza Pulido  
Johann Heinz Martínez Huartos  
Liliana Adriana Mendoza Saboya  
Nelson Alfonso Gómez Cruz

Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad – CEEP

Universidad del Rosario  
Facultad de Administración  
Editorial Universidad del Rosario  
Bogotá D.C.  
Noviembre 2010

Protocolo de implementación del LMyS. Implementación del laboratorio de modelamiento y simulación / Francisco Fernando Ortega Urtado... [et al.]; Carlos Eduardo Maldonado Castañeda, asesor. Facultad de Administración, Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad. CEEP. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario, 2009.

36 p.—(Documento de Investigación; 63).

ISSN: 0124-8219

Administración – Enseñanza – Colombia / Educación superior – Investigaciones - Colombia / Formación profesional – Colombia / I. Ortega Urtado, Francisco Fernando / II. Maldonado Castañeda, Carlos Eduardo / III. Título / IV. Serie.

378.007 SCDD 20

Carlos Eduardo Maldonado Castañeda (Asesor)  
Francisco Fernando Ortega Urtado  
Iván Alfredo Mendoza Pulido  
Johann Heinz Martínez Huartos  
Liliana Adriana Mendoza Saboya  
Nelson Alfonso Gómez Cruz

Corrección de estilo  
Claudia Ríos

Diagramación  
Precolombi EU-David Reyes

Editorial Universidad del Rosario  
<http://editorial.urosario.edu.co>

ISSN: 0124-8219

\* Las opiniones de los artículos sólo comprometen a los autores y en ningún caso a la Universidad del Rosario. No se permite la reproducción total ni parcial sin la autorización de los autores.  
Todos los derechos reservados.

Primera edición: noviembre de 2010  
Impresión:  
Impreso y hecho en Colombia  
*Printed and made in Colombia*

# Contenido

1. Introducción .....	5
2. Antecedentes .....	8
2.1. Política de investigación de la Universidad y de la Facultad.....	8
2.2. Entorno del Laboratorio .....	9
2.3. Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad-CEEP .....	9
2.4. Observatorio de Epidemiología Empresarial-OEE .....	13
3. Laboratorio de modelamiento y simulación empresarial-LMyS .....	14
3.1. Introducción al LMyS .....	14
3.2. Misión .....	15
3.3. Visión .....	15
3.4. Objetivo general.....	15
3.5. Objetivos específicos.....	16
3.6. Metodología de trabajo del equipo LMyS: .....	16
3.7. Impacto esperado .....	17
3.8. Estructura del LMyS.....	18
3.8.1. Conceptual.....	18
3.9. Organizacional.....	20
3.10. Tecnológica .....	20
3.11. Financiera.....	24
4. Marco conceptual .....	27
5. Bibliografía .....	32
6. Bibliografía por temas .....	34



# 1. Introducción

La creación del Laboratorio de Modelamiento y Simulación (LMyS) se lleva a cabo con el objeto de adelantar investigación original y apoyar los proyectos en desarrollo dentro de la Facultad de Administración, mediante el modelamiento desde las ciencias de la complejidad y la matemática no clásica. Este desarrollo obedece a la necesidad de dar respuestas a la realidad cambiante y dinámica en la que los modelos tradicionales no han dado una respuesta satisfactoria o suficiente. Gracias al LMyS se materializan los avances y desarrollos de los grupos de investigación de la Facultad a través del modelamiento y simulación con lógicas no-clásicas (modal, difusa, paraconsistente y lógica cuántica, entre otras), que permitan posteriormente producir a nivel computacional implementaciones de estos modelos. De este modo, mediante las contribuciones del LMyS se busca que, por un lado, exista innovación en el conocimiento con el rigor apropiado y a niveles mundiales en el estudio de los sistemas dinámicos modelados a partir de las organizaciones, y, por otro, se erija como una herramienta para el sector empresarial y productivo en los procesos de toma de decisión.

Al mismo tiempo que adelanta investigaciones que conducen a, y se condensan en, registros y patentes, el LMyS quiere contribuir al apoyo a la investigación en la disciplina de la administración. Así, el LMyS hace parte del gran proyecto de la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario que le permitirá abordar problemáticas actuales y futuras, en torno a la dinámica económica y social, pero con enfoques igualmente políticos, financieros y otros en el marco de un mundo caracterizado por una enorme complejidad (creciente).

El desarrollo de la investigación de la Facultad de Administración tiene como una gran influencia las ciencias de la complejidad, tratando de entregar a la comunidad empresarial herramientas, modelos o perspectivas diferentes que le permitan enfrentar la incertidumbre y disminuir los niveles de riesgo.

## Tal como lo expresaba el Señor Decano en la apertura del evento Los Días Complejidad:<sup>1</sup>

La Facultad de Administración, por su parte, ha hecho del trabajo en ciencias de la complejidad el motivo central de todo su proyecto académico. Decimos, sin timidez, pero sin arrogancia, que se trata de una Facultad pionera en lo relacionado con dichas ciencias, y si de Administración se trata, formamos parte del muy escaso número de unidades académicas, que en América Latina intentan comprender esta disciplina desde la complejidad. Nuestro compromiso ha significado un giro radical en nuestro devenir y en la concepción del futuro por construir, para ello, la interdisciplinariedad se constituye en ancla fundamental de nuestro quehacer, se trata de una interdisciplinariedad contundente, como solo una facultad de administración lo puede alcanzar, si así lo quiere. Médicos, abogados, físicos, sociólogos, biólogos, ingenieros, economistas, psicólogos, filósofos, matemáticos y administradores se confunden en nuestra facultad para tratar de comprender la organización como un sistema biológico, capaz de construir ambientes eco-eficientes que modifiquen la realidad. Todo lo anterior, con apoyo en las ciencias de la complejidad, superando, así, el paradigma dominante consistente en entenderlas a la manera de la ingeniería y la física clásicas, es decir, abordándolas como estados predecibles, estables, ordenados, lineales y controlables, en últimas, interviniéndolas como fenómenos objetivos.....

La ciencia de punta, como es sabido, ya no se articula única ni principalmente en torno a las ciencias sociales y humanas, como tampoco alrededor de las ciencias naturales o exactas –dos maneras arcaicas, decimonónicas– de comprender y clasificar el conocimiento. Por el contrario, la punta de la ciencia, en sentido amplio, se acopla, hoy por hoy, en torno a las ciencias cognitivas, a las ciencias de la vida, a las ciencias de la tierra, a las ciencias de la salud, a las ciencias del espacio, a las ciencias de materiales y a las ciencias de la complejidad. Todas ellas de frontera, fundadas a partir de problemas de frontera. Esta historia, apenas mencionada, es a todas luces apasionante. No sin ambages, se habla de la cuarta revolución científica en curso. Análogas a las revoluciones que representaron Galileo Galilei e Isaac Newton, el estudio de los sistemas dinámicos, que incluyen al caos, se proyecta como una auténtica revolución industrial, una revolución a la manera de Thomas Kuhn, en cuya base se encuentran las manifestaciones intelectuales de Alexandre Koyré y Gaston Bachelard, sin olvidar, las contribuciones de Ludwig Fleck.

El estudio de la complejidad no es, simple y llanamente, el de los fenómenos caracterizados por sinergias, interrelaciones y emergencias; además y principalmente, se caracteriza por la reflexión sobre aquellos eventos que son y se hacen crecientemen-

te complejos. De este modo, el énfasis se sitúa en la sorpresa, la no-linealidad, los equilibrios dinámicos y la autoorganización. Para ello, si cabe decirlo, se dispone de una batería de herramientas que incluyen la termodinámica del no-equilibrio, el caos, los fractales, las catástrofes, la ciencia de las conexiones y las lógicas no-clásicas, varias de las cuales, han sido convertidas en asignaturas que comienzan su camino en nuestra facultad.

La orientación de la investigación que desarrolla la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario requiere de un laboratorio que permita llevar los modelos definidos dentro de los grupos a productos concretos destinados al desarrollo y perdurabilidad empresarial.



## 2. Antecedentes

### 2.1. Política de investigación de la Universidad y de la Facultad

La Facultad de Administración desarrolla su política de investigación con el propósito de fortalecer las bases de una docencia de excelencia y la proyección social, lo cual va conforme la política de investigaciones de la Universidad del Rosario que además plantea una “Universidad de docencia que hace investigación”. Nuestra meta es la de convertirnos en una Facultad que hace investigación y una Universidad investigativa.

En particular, la investigación que hace la Facultad tiene como centro y razón de ser principal la generación de conocimiento pertinente, desde el punto de vista de la administración, a la recuperación de los niveles de perdurabilidad empresarial nacional. De esta manera, la formación de profesionales éticos y comprometidos con el país es una tarea que no es posible sin el concurso de la investigación científica del fenómeno de la perdurabilidad empresarial colombiana que se ha establecido como el gran reto de la academia.

Por esta razón se desarrolla la investigación como programa científico del que surge consecuentemente un grupo de investigación cuyo enfoque es la perdurabilidad empresarial. Para apoyar este proceso se hace necesario el desarrollo de la investigación formativa de semilleros, en la que, a su vez, los investigadores con sus líneas y proyectos contribuyen al conocimiento y su pertinencia social se avanza, de manera significativa, en la extensión universitaria; concretamente, en la relación Universidad - Empresa, por ejemplo, en funciones de asesoría y consultoría. Esto contribuye a la formación de masa crítica de doctores mediante el programa de jóvenes investigadores a través del cual se preparan las generaciones de relevo en investigación.

El trabajo de punta en el mundo en torno a los sistemas caracterizados por complejidad creciente se concentra en dos o tres campos centrales, así: de un lado, en la importancia de la medición de la complejidad de un(o varios) sistema(s); de otra parte, en la aplicación de conceptos y abordajes a determinados dominios de la naturaleza y del mundo en general, o en particular. En estos dos campos, la importancia del computador y, más específicamente, de la simulación, se pone de relieve como un aspecto nuclear. Finalmente, el

tercer campo de trabajo en el mundo es el que se dedica al estudio y elaboración de una teoría general de la complejidad.

Pues bien en consonancia con este panorama, el LMyS se propone concentrarse en una de las aristas más sensibles del trabajo en torno a los sistemas complejos adaptativos o, también, a los sistemas complejos no-lineales. De este modo, la apuesta del Facultad y de la Universidad es la de situarnos en la punta del conocimiento y a la altura de los mejores centros e institutos de investigación sobre sistemas dinámicos en el mundo; en nuestro caso, el hilo conductor es el de los temas y problemas relativos a las organizaciones en general, y en particular, los temas de estrategia y dirección a partir de un problema específico: el de la perdurabilidad de las empresas y las organizaciones.

Encontrada la justificación para cambiar los medios de investigación en administración por ideas y herramientas más acordes con las tendencias generales de la ciencia, surge la necesidad de constituir una entidad interdisciplinaria que analice los problemas desde perspectivas que no intenten separar los problemas de su entorno y que los resuelva con métodos que han probado su efectividad en campos muy diversos de la actividad humana. De esta manera surge la necesidad de abordar los temas de la Administración en términos de las ciencias de la complejidad en un contexto con objetivos unificados, para dar respuesta a problemas que se hacen cada vez más apremiantes.

## 2.2. Entorno del Laboratorio

El instrumento para el desarrollo de la investigación de la Facultad es el Centro de Estudios Empresariales Para la Perdurabilidad –CEEP– el cual tiene tres directrices básicas, a saber: el Grupo de Investigación en Perdurabilidad Empresarial -GIPE- el Observatorio de Epidemiología Empresarial –OEE– y el Laboratorio de Modelamiento y Simulación empresarial -LMyS-.

## 2.3. Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad - CEEP

La Universidad del Rosario se concibe actualmente como una “Universidad de docencia que hace investigación”. En los últimos diez años se ha consolidado paulatinamente esta actividad, en la que se ha incrementado la clasificación

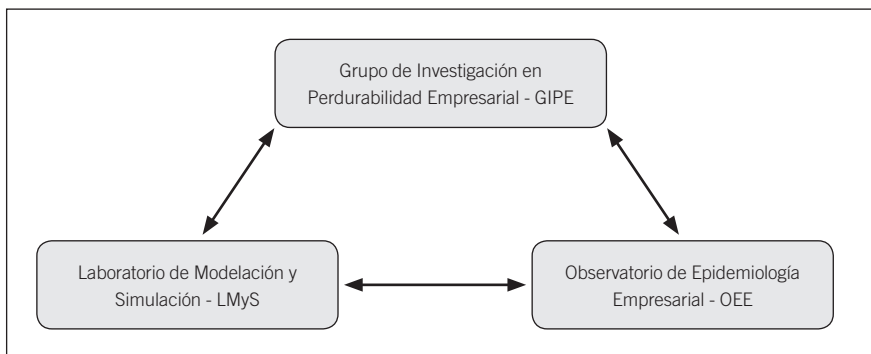
y el reconocimiento de grupos de investigación bajo los parámetros de medición en Colciencias. La investigación es para la comunidad académica uno de los pilares de su plan integral de desarrollo y la base de sus actividades estratégicas como medio para alcanzar la calidad educativa, el crecimiento y el desarrollo con identidad, tal y como está expresado en los ejes estratégicos del PID (Plan Integral de Desarrollo) tanto de la Facultad como de la Universidad, planteado hasta el año 2019.

Los principales temas de estudio en el Centro de Estudios bajo los que se desarrollan los proyectos de investigación son: condiciones de perdurabilidad, mejoramiento, análisis estructural, productividad, prospectiva, tecnologías de gestión, clima organizacional, gobierno de empresa, cultura organizacional, modelo empresarial, estructura, servicio, indicadores de perdurabilidad, ética y responsabilidad social y gestión del conocimiento.

Bajo estas directrices se planea como propósito fundamental del Centro de Estudios Empresariales (conforme los lineamientos institucionales del PID), la consolidación de la tradición del programa de investigación en perdurabilidad empresarial, mediante el análisis de la dinámica de grupos, el desarrollo de procesos formativos y la observación sistemática de la realidad de empresa.

El objetivo del CEEP es el de aplicar la política institucional de investigaciones con el fin de construir nuevo conocimiento pertinente relacionado con la perdurabilidad de las empresas mediante una estrategia de integración Universidad y Empresa a través de la Alianza del Centro de Estudios Empresariales y el Centro de Innovación y Desarrollo Empresarial (CIDEM).

En este momento el Centro de Estudios Empresariales para la Perdurabilidad tiene la siguiente estructura:



Estructura elaborada en junio de 2009.

## Grupo de Investigación en Perdurabilidad Empresarial - GIPE



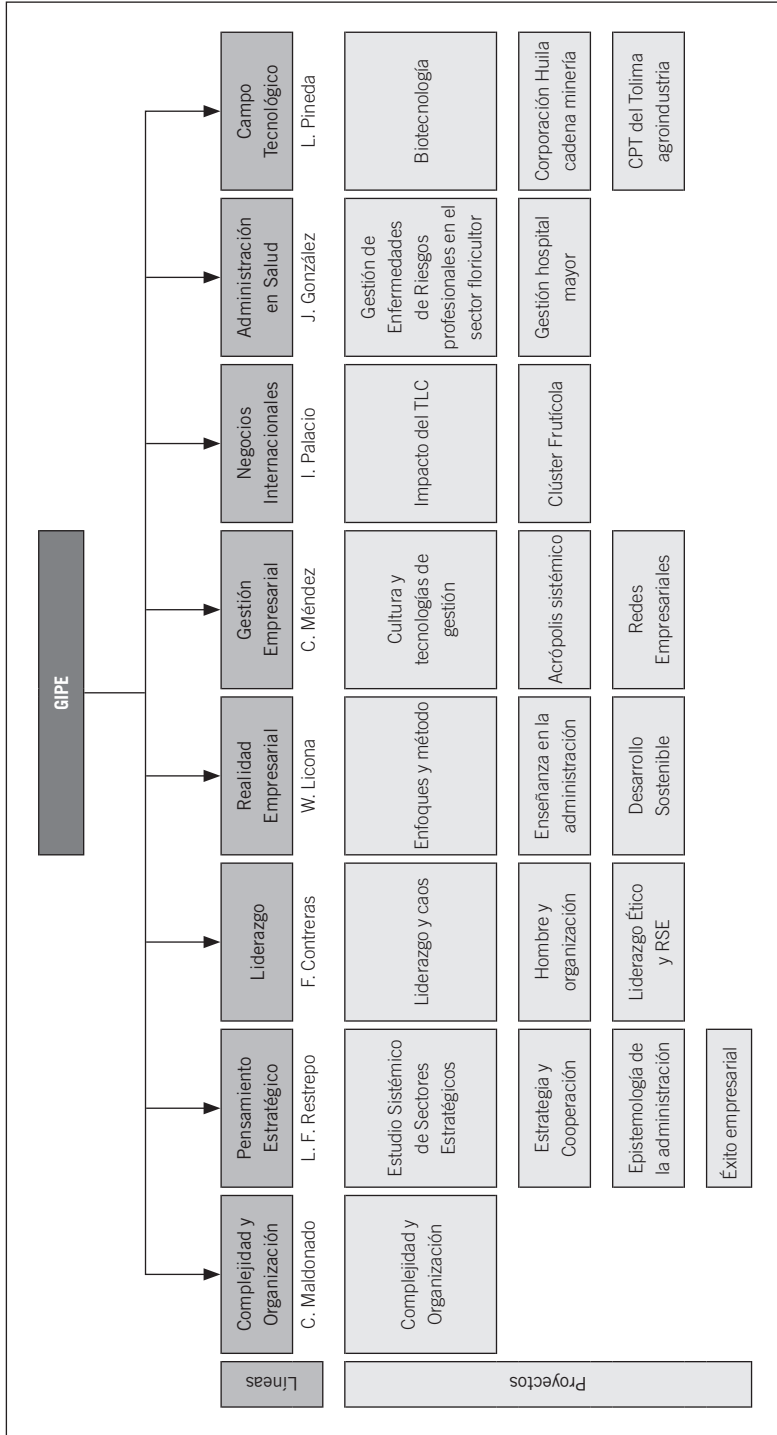
Registrado y Clasificado en categoría A con medición de ScienTicol de 10, en la plataforma de ScienTI de Colciencias. Año creación 2001

Líder de Grupo: Carlos Eduardo Maldonado Castañeda E-mail: carlos.maldonado@urosario.edu.co

El Grupo de Investigación en Perdurabilidad Empresarial, grupo líder de la Facultad, vio la necesidad de ampliar sus áreas de estudio, motivo por el cual ha sufrido varias reestructuraciones en relación a sus líneas de investigación.

Se crean dos ejes de investigación: el eje de Investigación en Dirección que comprende tres grandes temas que son objeto de investigación doctoral y que consisten en el pensamiento estratégico, el liderazgo y la interpretación nueva de la realidad de empresa; y el eje de Investigación en Gerencia, en el cual se desarrollan los marcos conceptuales y las herramientas del mejoramiento de la productividad, la estructura, procesos e instrumentos de diseño y gestión organizacional.

A continuación se muestra la estructura del Grupo:



Estructura elaborada en octubre 2009.

## 2.4. Observatorio de Epidemiología Empresarial -OEE

El observatorio –OEE– es un una instancia académica dedicada al estudio, vigilancia, y seguimiento de los principales factores que inciden en la perdurabilidad de las empresas (Pymes) colombianas y latinoamericanas con el fin de generar información válida y confiable, derivada de la investigación en administración, que aporte evidencia científica de forma continua y permanente.

El propósito es aplicar las herramientas y métodos de la epidemiología y la gestión basada en evidencia al estudio de los fenómenos de la empresa con el fin de comprender sus procesos de salud y enfermedad, de manera que permitan brindar información de alta validez y confiabilidad a los sectores estratégicos estudiados.

La misión del Observatorio de Epidemiología Empresarial es construir una plataforma de monitoreo, investigación y difusión de estudios de salud y enfermedad de las empresas, con el fin de generar conocimiento pertinente acerca de la perdurabilidad empresarial colombiana.

### 3. Laboratorio de modelamiento y simulación empresarial - LMyS

#### 3.1. Introducción al LMyS

La relación que tiene el LMyS con el GIPE se fundamenta en una relación cooperativa. El aporte del Grupo al Laboratorio es dual en el sentido en que no solo le proporciona información concreta del medio empresarial, sino aquella de la cual se han de inferir por ejemplo correlaciones no evidentes (partiendo de bases de datos logradas por las investigaciones), además de nuevas hipótesis acerca de la realidad empresarial. De la misma forma, el Laboratorio apoya al Grupo por medio de propuestas de modelamiento para la comprobación de hipótesis y la consecución de resultados por medio de técnicas no lineales que lleven a los investigadores a encontrar perspectivas innovadoras de los problemas tradicionales y no tradicionales de las organizaciones.

Asimismo el Laboratorio apoyará al observatorio con nuevas técnicas para la observación de fenómenos empresariales con el fin de complementar las técnicas de observación que propone la ciencia de la epidemiología aplicada al mundo empresarial. De forma recíproca, el observatorio proporcionará información en forma de bases de datos y de resultados derivados de éstas, con el fin de poner en marcha la aplicación de modelos que describan comportamientos particulares de las empresas observadas por el OEE.

El LMyS propone la implementación de aplicaciones metodológicas no lineales en el estudio de las organizaciones, lo cual se constituye en una herramienta de gran valor para los académicos e investigadores en administración, pero también para directores de empresas y gerentes en general. Los ejes centrales de trabajo del Laboratorio son las matemáticas no clásicas, las lógicas no clásicas y los sistemas computacionales no convencionales.

En consecuencia, el Laboratorio está compuesto por un equipo interdisciplinario altamente especializado en estos temas. Gracias a ello es posible consolidar recursos técnicos y físicos que permitan el desarrollo de los modelos y su programación, así como desarrollar las simulaciones necesarias para el apoyo de las investigaciones futuras.

Dentro de los resultados esperados se encuentran artículos científicos, registros y patentes y libros, la participación en congresos nacionales o in-

ternacionales, tanto como el desarrollo de herramientas metodológicas para la consultoría empresarial.

### 3.2. Misión

Investigar y apoyar a los grupos de investigación, la docencia y la extensión de la Facultad en el desarrollo de actividades de modelamiento, simulación, programación y minería de datos enfocados en lograr una validación epistemológica de las investigaciones proporcionadas por los grupos de investigación de la Facultad, en especial por el CEEP.

### 3.3. Visión

Para 2010 se busca consolidar el LMyS a través del reconocimiento, académico, empresarial, sectorial, nacional e internacional por sus productos desarrollados de gran impacto en el desarrollo de las empresas. Se habrá creado un espacio donde se hace modelamiento y simulación por un grupo de personas expertas en sistemas dinámicos y complejidad, usando metodologías y tecnologías computacionales no convencionales, con el propósito constante de apoyar la investigación en el interior de la Facultad. En el futuro inmediato, el LMyS habrá permitido que la Facultad se convierta en punto de referencia internacional en cuanto a la investigación en Administración.

### 3.4. Objetivo general

El objetivo del laboratorio es el de desarrollar herramientas metodológicas, computacionales, matemáticas, lógicas y conceptuales que puedan impulsar y retroalimentar de manera efectiva la actividad de investigación de la Facultad de Administración de la Universidad del Rosario, de acuerdo con la política general orientada por el trabajo en ciencias de la complejidad.

Estos desarrollos estarán orientados a la construcción de una plataforma universal (o lenguaje común) y al apoyo metodológico de la investigación en la Facultad especialmente a las actividades del GIPE y OEE.



### 3.5. Objetivos específicos

- Desarrollar una plataforma común para el análisis de la perdurabilidad de las empresas.
- Estructurar un marco de referencia conceptual y tecnológico que permita almacenar conocimiento referente a las investigaciones y proyectos de extensión (consultoría) en la Facultad.
- Desarrollar los productos (registros y patentes) provenientes de los grupos de investigación de la Facultad que den respuestas a los altos grados de incertidumbre a que están abocadas las empresas.
- Desarrollar herramientas de consultoría, asesoría e investigación que combinen estrategia y complejidad.
- Poner a disposición de la Facultad y de los sectores público y privado los recursos necesarios para el modelamiento y simulación.
- Desarrollar y liderar una red de investigación que se interese en el tema del modelamiento empresarial, por esta razón el proyecto propone hacer convenios que aporten al desarrollo de la investigación en la facultad.

### 3.6. Metodología de trabajo del equipo LMyS

La metodología estará orientada bajo el marco conceptual del LMyS, para ello se requiere explicitar estos temas, buscando su aplicabilidad en los modelos ya desarrollados en los grupos de investigación de la Facultad. Con esta información se apunta a construir el estado del arte complementado por las tendencias actuales en materia de modelamiento y simulación empresarial. Adicionalmente, se hará un análisis para identificar cuáles de estos modelos se pueden usar y en qué escenario se haría, ello con el fin de lograr ejemplificarlos de forma práctica con datos reales.

Algunas pruebas requerirán la búsqueda de bases de datos colombianas para su aplicación, pero, según la naturaleza de la información, será necesario realizar trabajo de campo, el cual puede desarrollarse con la ayuda de los estudiantes del semillero de investigación y en el marco de las líneas de investigación y los proyectos de investigación de la Facultad.

El insumo de los modelos y la simulación son los datos, razón por la cual se requiere un cuidadoso trabajo; para ello es necesario definir una estructura de base de datos que permita registrar las pruebas y los datos obtenidos en la simulación y aplicación de los productos generados.

Con el fin de hacer públicos los hallazgos se hará el diseño de una página para el Laboratorio de Modelamiento y Simulación, en el cual se tendrá información del desarrollo de los modelos tanto en estudio como ya definidos. Así como información de actualización en el tema de modelamiento para empresas. Pero un área destacada será la publicación seriada y sistemática de textos que presenten siempre los tres componentes –matemático, lógico y computacional– sobre la base de los temas y problemas de administración en general, en el marco definido por la facultad de las ciencias de la complejidad.

Dentro de los resultados que generan nuevo conocimiento está la aplicación de los modelos matemáticos o de inteligencia artificial a la administración de empresas. Se espera poder desarrollar una metodología que sea aplicable a empresas del sector real.

### 3.7. Impacto esperado

Se espera que el Laboratorio de Modelamiento y Simulación Empresarial sea la fuente de generación de herramientas para la evaluación de la incertidumbre empresarial. Adicionalmente, se espera que se realicen estudios constantemente sobre la aplicación de los modelos no lineales, que sirvan para la solución de problemas empresariales.

IMPACTO ESPERADO	Plazo (años) después de finalizado el proyecto: corto (1-4), mediando (5-9), largo (10 o más)	Indicador verificable	Supuestos*
Social	Desarrollo y aplicación de herramientas de consultoría.	Número de herramientas. Número de consultorías.	Que el LMyS pueda impulsar estudios aplicados en empresas reales.
Investigación	Planteamiento de proyectos de investigación con las metodologías del LMyS.	Número de proyectos que utilizan las metodologías.	Que las herramientas tengan un soporte tecnológico tal que sean prácticas y fáciles de usar.
Reconocimiento	Participación en congresos y publicación en revistas especializadas.	Número de invitaciones para presentar ponencias. Número de citas.	

\* Los supuestos indican los acontecimientos, las condiciones o las decisiones necesarios para que se logre el impacto esperado.

## 3.8. Estructura del LMyS

### 3.8.1. Conceptual

El LMyS se entiende como un ente compuesto por tres grandes frentes conceptuales de ataque hacia a un problema específico propuesto. A saber, las matemáticas, la lógica y la computación. Teniendo en cuenta que estas tres líneas de ataque tienen en común el carácter no convencional o tradicional que adquieren bajo el contexto de los sistemas complejos y no lineales.

Con respecto al frente de ataque de la Lógica, debe ser este entendido como un conjunto de lógicas no clásicas que han de servir para hacer la modelamiento y el análisis cualitativo de un sistema a estudiar. Con referente a lo anterior, se consideran entre lógicas no clásicas la lógica modal, difusa, cuántica, temporal, polivalente, epistémica, relevantes, y paraconsistente.

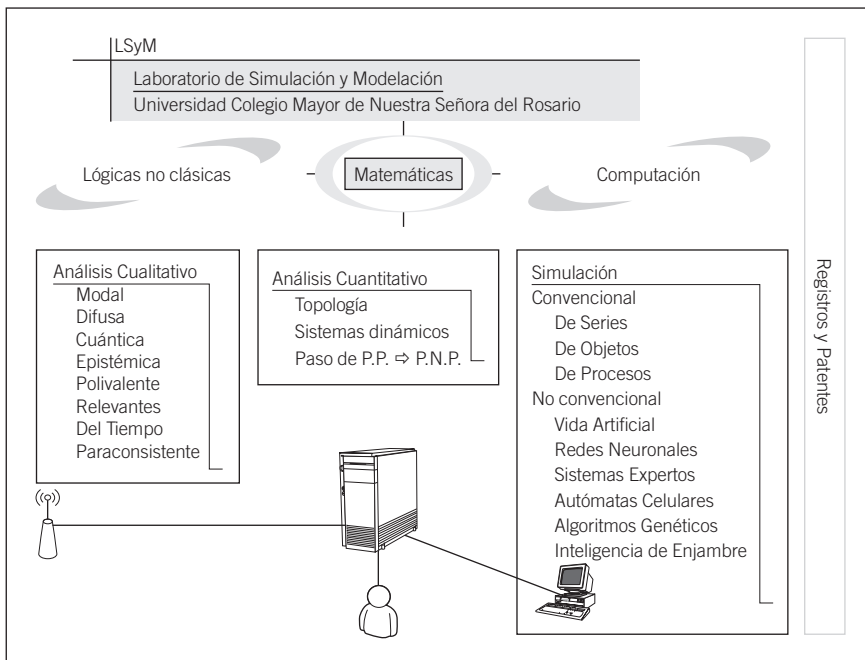
La parte matemática tiene como objetivo principal adecuar los resultados teóricos obtenidos por los diversos investigadores de la Facultad a los estándares de rigor, generalidad y simplicidad que rigen las matemáticas modernas. Una teoría para poder ser exitosamente expresada en términos matemáticos tiene, por necesidad, que tener un alto nivel de precisión y de consistencia interna. La idea es encontrar las herramientas matemáticas adecuadas que se adapten al tipo de problemas estudiados en la Facultad.

Estimamos que buena parte del trabajo por hacer se centrará en problemas de topología (notablemente estructural), sistemas dinámicos y el paso de problemas polinomiales –problemas P– a problemas no polinomiales –problemas N-P–. Se pretende con estas herramientas hacer el modelamiento y análisis cuantitativo y cualitativo de los sistemas en cuestión.

Por último, el frente computacional busca abstraer el Componente Convencional hacia una la Simulación de Objetos o Simulación de Series y Procesos, al tiempo que el Componente No Convencional estaría reflejado en el uso de Algoritmos Genéticos, Automatas Celulares, Redes Neuronales y Expertas, Vida Artificial e Inteligencia de Enjambre. El objetivo específico de este frente es poder hacer las simulaciones de los modelos cualitativos y cuantitativos y obtener resultados que puedan ser analizados y contrastados con la realidad.

En general, el interés se centra en los problemas N-P vistos desde las lógicas no clásicas, estudiados computacionalmente de forma no convencional para atender a las dinámicas y procesos de un mundo crecientemente complejo marcado por inestabilidades y turbulencias, incertidumbre y riesgo.

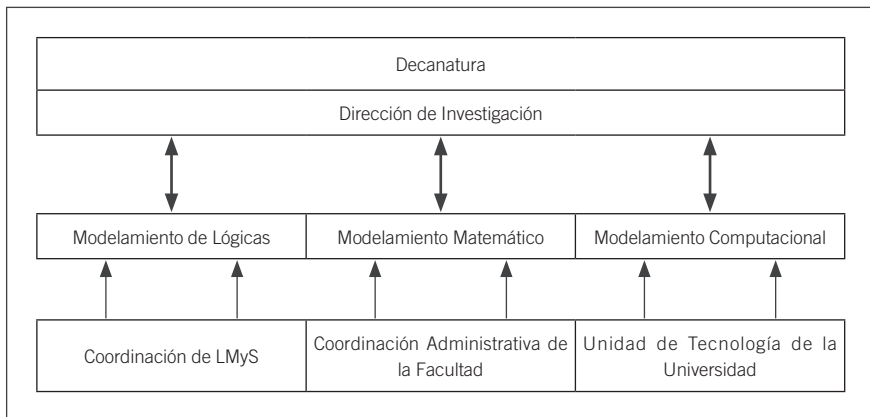
Una relación gráfica se muestra en el siguiente esquema:



### 3.9. Organizacional

Dentro del contexto de la Facultad y la Universidad y desde el punto de vista organizacional, el LMyS busca mezclar su actividad con la del resto de la Facultad empezando por los grupos de investigación con el apoyo de otras instancias que hacen posible su existencia. Para este propósito se ubica dentro de la estructura dependiendo directamente de la Dirección de Investigación.

Al interior, el laboratorio se organiza en tres áreas que traslapan sus propósitos y productos, como se muestra en el siguiente diagrama:

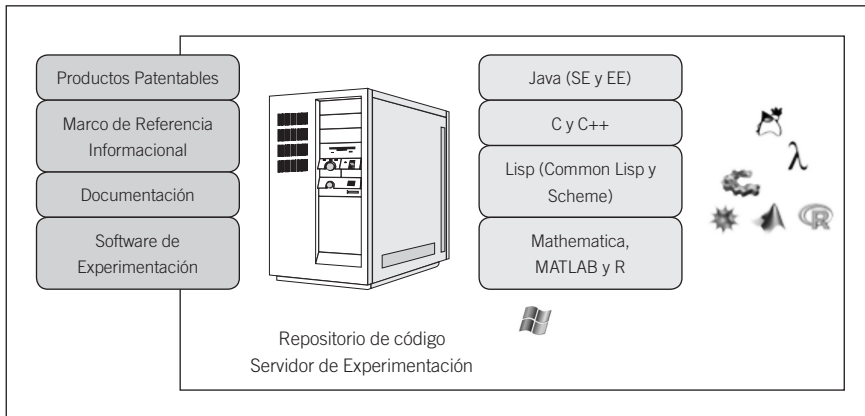


### 3.10. Tecnológica

La estructura tecnológica discrimina los distintos ambientes sobre los que se desarrollará la actividad productiva del laboratorio, desde el punto de vista del desarrollo de software.

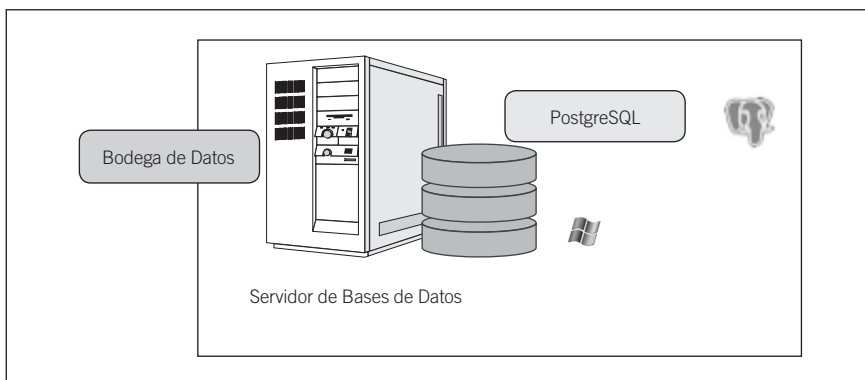
- Repositorio de código  
El repositorio de código es el sistema destinado a almacenar y administrar las sucesivas versiones del código fuente correspondiente a los diferentes proyectos. Se garantizará acceso al repositorio únicamente a los miembros del laboratorio y sus contenidos pueden considerarse como secreto industrial. Como conclusión de una exploración inicial de los problemas a abordar computacionalmente se escogieron los

lenguajes Java, Lisp, y C++; y apoyando la experimentación MATLAB, Mathematica y R.



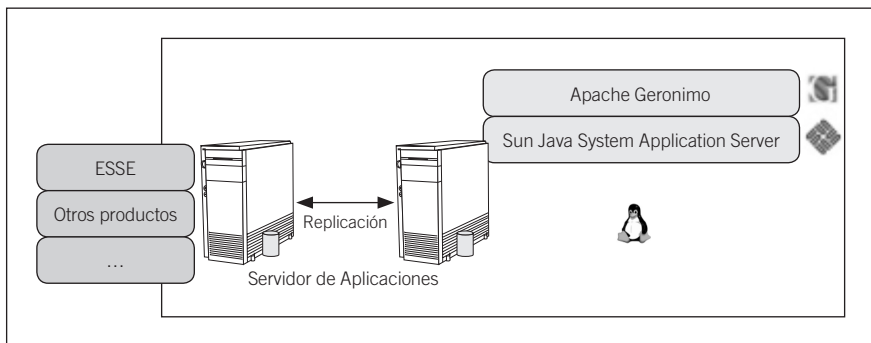
- Servidor de Bases de Datos

Al tiempo que se desarrollan aplicaciones tendientes al mejoramiento de los niveles de perdurabilidad, es un objetivo la compilación sistemática y ordenada de información relevante sobre las actividades de las empresas, y su relación con el entorno. Se plantea pues el problema del diseño de un sistema para almacenar esta información y el diseño de su estructura. Se decidió abordar este problema de una forma tradicional usando un RDBMS (Relational DataBase Management System) de libre distribución (PostgreSQL).



- Servidor de Aplicaciones

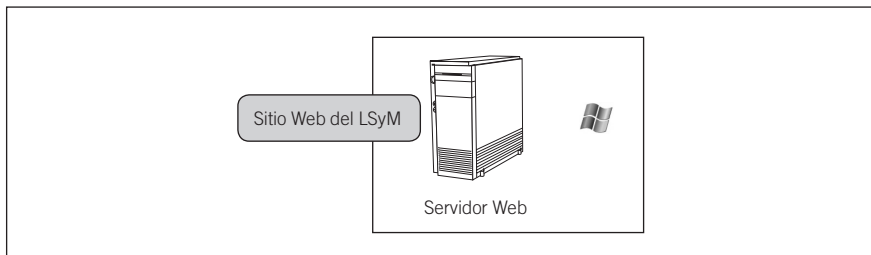
El paradigma de aplicaciones basadas en la web que domina forma en que se relacionan los usuarios con el procesamiento de información hace posible que pueda distribuirse su procesamiento y almacenamiento para lograr redundancia en ambos aspectos. Así mismo se garantizaría acceso universal, desde la perspectiva de la ubicación de un usuario autorizado. De esta forma se constituye un único almacén de información administrado por la Universidad, sobre el cual puede apoyarse y al que en el futuro deberá referirse cualquier actor dentro del sector empresarial, en los procesos en los que pueda verse involucrado, tanto al interior de la empresa como en el entorno en el que ésta se desenvuelve.

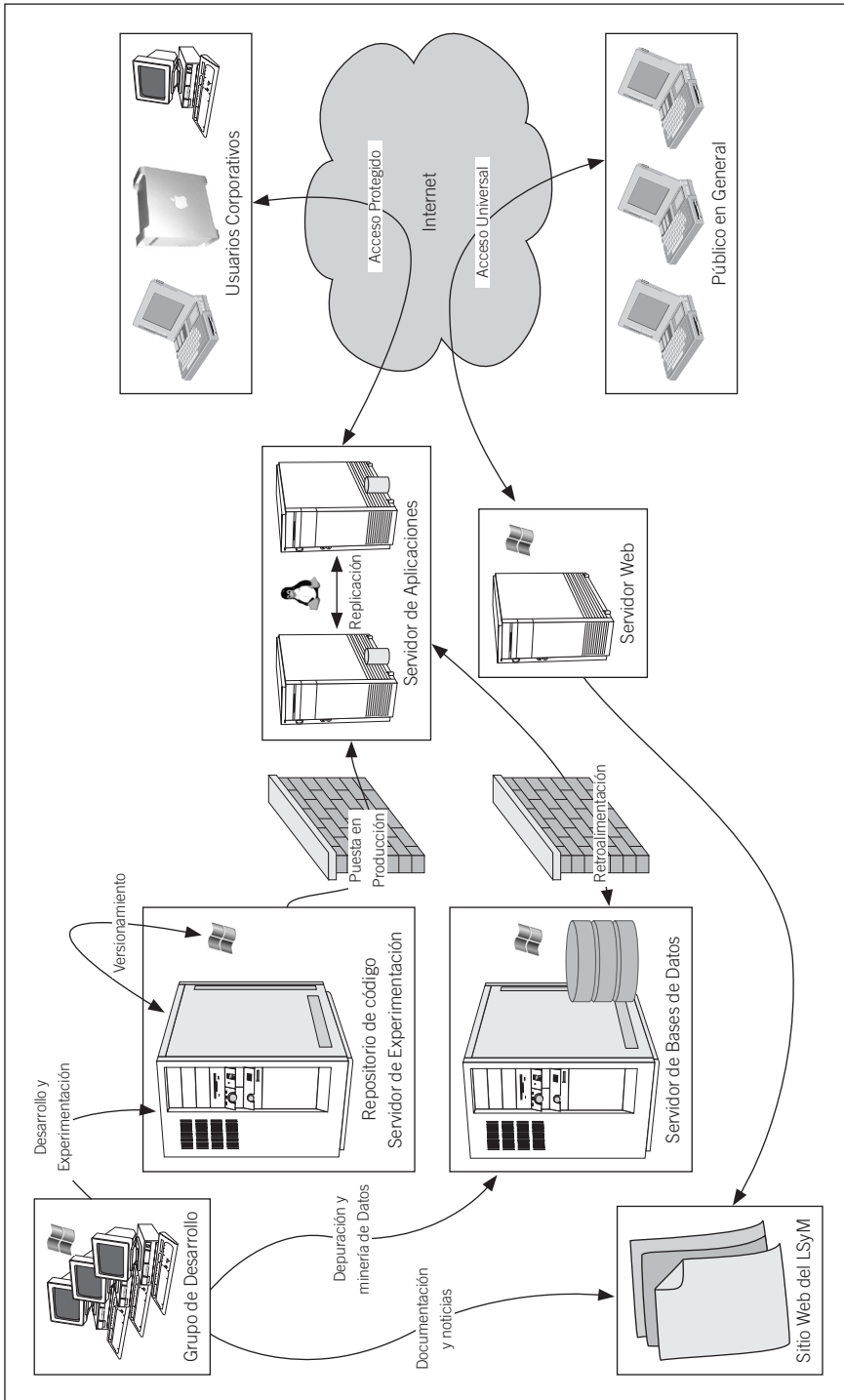


- Sitio Web del Laboratorio

Pretende informar acerca de los avances y publicaciones del LMyS, así como de su estructura y líneas de investigación. Este sitio web estará asociado a la página de la Facultad.

Estos actores se pueden visualizar en conjunto en el siguiente gráfico:







### 3.11. Financiera

La estructura financiera de la implementación del LMyS será presentada por solicitud.

#### **CRONOGRAMA DEL LMyS**

Id	Nombre/Tarea	Duración Días	Fecha Comienzo	Fecha Fin
1	INICIATIVAS DEL LMyS	468,88	02-Feb-09	03-Ene-11
2	Definir la Estructura del LMyS Conceptual	5,83	02-Feb-09	09-Feb-09
3	Protocolo del LMyS	11,67	09-Feb-09	25-Feb-09
4	Definir la Estructura Tecnológica	16	25-Feb-09	19-Mar-09
5	Definición de recursos tecnológicos	1	25-Feb-09	26-Feb-09
6	Definición del Kernel del sistema inteligente	5	26-Feb-09	05-Mar-09
7	Definición del glosario y estructura de la BD	10	05-Mar-09	19-Mar-09
8	Página web del Laboratorio	1	25-Feb-09	26-Feb-09
9	Elaboración de documentos LMyS	463,88	09-Feb-09	03-Ene-11
10	Fecha de Entrega de Documento Publicación	424,88	02-Abr-09	02-Ene-11
11	Fecha de Entrega de Documento Publicación 1	0	02-Abr-09	02-Abr-09
12	Fecha de Entrega de Documento Publicación 2	0	02-Jul-09	02-Jul-09
13	Fecha de Entrega de Documento Publicación 3	0	02-Oct-09	02-Oct-09
14	Fecha de Entrega de Documento Publicación 4	0	02-Ene-10	02-Ene-10
15	Fecha de Entrega de Documento Publicación 5	0	02-Abr-10	02-Abr-10
16	Fecha de Entrega de Documento Publicación 6	0	02-Jul-10	02-Jul-10
17	Fecha de Entrega de Documento Publicación 7	0	02-Oct-10	02-Oct-10
18	Fecha de Entrega de Documento Publicación 8	0	02-Ene-11	02-Ene-11
19	Modelamiento ESSE	231	02-Feb-09	04-Feb-10
20	Estudio y comprensión del modelo de Estudios Sectoriales	50	02-Feb-09	20-Abr-09
21	Modelamiento Matemático	65	30-Mar-09	17-Jul-09
22	Diseño del modelo ESSE	50	30-Mar-09	15-Jun-09
23	Comprobación y simulación ESSE	15	15-Jun-09	17-Jul-09
24	Diseño de herramientas de interfaces visual	40	16-Mar-09	18-May-09
25	Análisis	10	16-Mar-09	30-Mar-09

Continúa

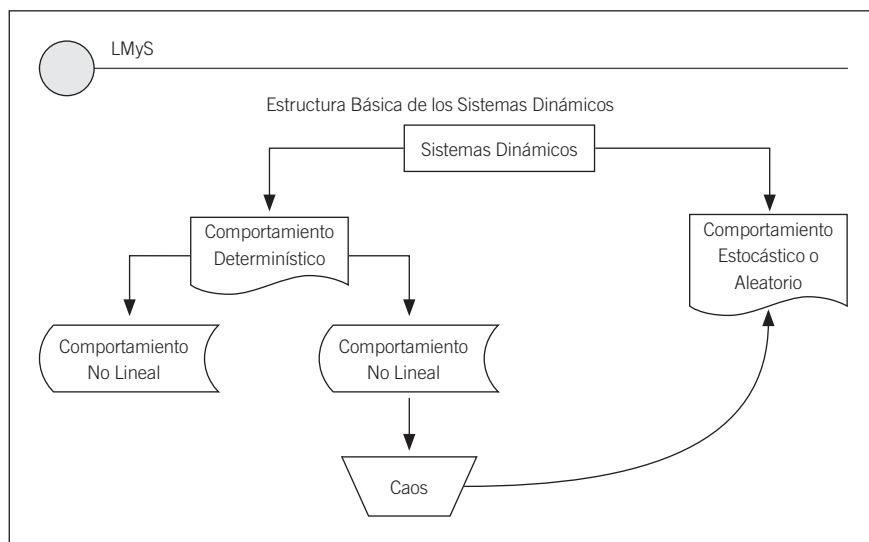
Id	Nombre/Tarea	Duración Días	Fecha Comienzo	Fecha Fin
26	Diseño	10	30-Mar-09	20-Abr-09
27	Programación	20	20-Abr-09	18-May-09
28	Entrega de software herramientas convencionales ESSE	0	18-May-09	18-May-09
29	Diseño y Desarrollo Computacional	125	17-Jul-09	03-Feb-10
30	Diseño del software ESSE	20	17-Jul-09	14-Ago-09
31	Requerimientos tecnológicos para el desarrollo ESSE	5	14-Ago-09	21-Ago-09
32	Desarrollo de la aplicación ESSE	80	21-Ago-09	11-Dic-09
33	Prueba pilotos ESSE	10	11-Dic-09	20-Ene-10
34	Ajustes y comprobación ESSE	10	20-Ene-10	03-Feb-10
35	Patente y/o registro ESSE	0	03-Feb-10	03-Feb-10
36	Puesta en servicio (empresa, consultoría) ESSE	1	03-Feb-10	04-Feb-10
37	Seguimiento y mejoramiento ESSE	0	04-Feb-10	04-Feb-10
38	Modelamiento ACRÓPOLIS	241	14-Ago-09	12-Ago-10
39	Estudio y comprensión del modelo ACRÓPOLIS	50	14-Ago-09	23-Oct-09
40	Modelamiento Matemático ACRÓPOLIS	65	23-Oct-09	17-Feb-10
41	Diseño del modelo ACRÓPOLIS	50	23-Oct-09	27-Ene-10
42	Comprobación y simulación ACRÓPOLIS	15	27-Ene-10	17-Feb-10
43	Diseño y Desarrollo Computacional ACRÓPOLIS	125	17-Feb-10	11-Ago-10
44	Diseño del software ACRÓPOLIS	20	17-Feb-10	17-Mar-10
45	Requerimientos tecnológicos para el desarrollo ACRÓPOLIS	5	17-Mar-10	24-Mar-10
46	Desarrollo de la aplicación ACRÓPOLIS	80	24-Mar-10	14-Jul-10
47	Prueba pilotos ACRÓPOLIS	10	14-Jul-10	28-Jul-10
48	Ajustes y comprobación ACRÓPOLIS	10	28-Jul-10	11-Ago-10
49	Patente y/o registro ACRÓPOLIS	0	11-Ago-10	11-Ago-10
50	Puesta en servicio (empresa, consultoría) ACRÓPOLIS	1	11-Ago-10	12-Ago-10
51	Seguimiento y mejoramiento ACRÓPOLIS	0	12-Ago-10	12-Ago-10
52	Modelamiento PERDURABILIDAD	121	17-Mar-10	02-Sep-10
53	Estudio y comprensión del modelo PERDURABILIDAD	20	17-Mar-10	14-Abr-10
54	Modelamiento Matemático PERDURABILIDAD	30	14-Abr-10	26-May-10
55	Diseño del modelo PERDURABILIDAD	20	14-Abr-10	12-May-10

Continúa

Id	Nombre/Tarea	Duración Días	Fecha Comienzo	Fecha Fin
56	Comprobación y simulación PERDURABILIDAD	10	12-May-10	26-May-10
57	Diseño y Desarrollo Computacional PERDURABILIDAD	70	26-May-10	01-Sep-10
58	Diseño del Software PERDURABILIDAD	15	26-May-10	16-Jun-10
59	Requerimientos tecnológicos para el desarrollo PERDURABILIDAD	5	16-Jun-10	23-Jun-10
60	Desarrollo de la aplicación PERDURABILIDAD	30	23-Jun-10	04-Ago-10
61	Prueba pilotos PERDURABILIDAD	10	04-Ago-10	18-Ago-10
62	Ajustes y comprobación PERDURABILIDAD	10	18-Ago-10	01-Sep-10
63	Patente y/o registro PERDURABILIDAD	0	01-Sep-10	01-Sep-10
64	Puesta en servicio (empresa, consultoría) PERDURABILIDAD	1 día	01-Sep-10	02-Sep-10
65	Seguimiento y mejoramiento PERDURABILIDAD	0	02-Sep-10	02-Sep-10

## 4. Marco conceptual

A continuación se presenta un esquema elemental que da una idea acerca de los sistemas dinámicos, tal y como piensa trabajarlos el LMyS:



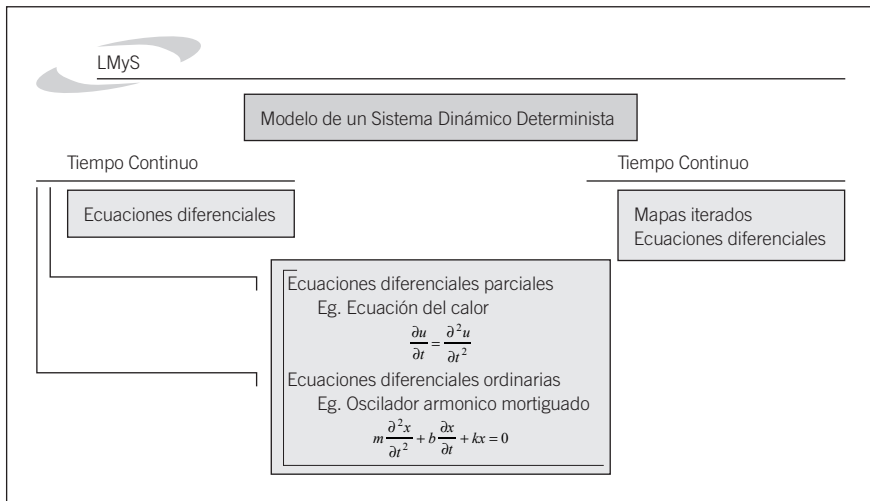
Un sistema dinámico es una regla matemática que describe el cambio de un conjunto de variables a través del tiempo. Pueden clasificarse según el comportamiento de las soluciones (valores de las variables en un instante determinado en el futuro) para un conjunto fijo de entradas: algunos sistemas exhiben un comportamiento determinístico cuando es posible reproducir su comportamiento de manera idéntica bajo condiciones iniciales idénticas. Los sistemas dinámicos lineales pueden resolverse usando funciones simples dado el carácter de proporcionalidad de cada variable consigo misma en instantes en el futuro. Este carácter no lo comparten las variables de los sistemas no lineales.

Si el comportamiento es reproducible hasta cierto nivel, el sistema dinámico, aunque no determinístico es modelable por métodos estadísticos que pueden aproximar una solución bastante acertada. Éstos son los sistemas dinámicos estocásticos. Este tipo de sistemas está sujeto a los efectos del “ruido” por el gran número de variables involucradas, lo que puede llevar

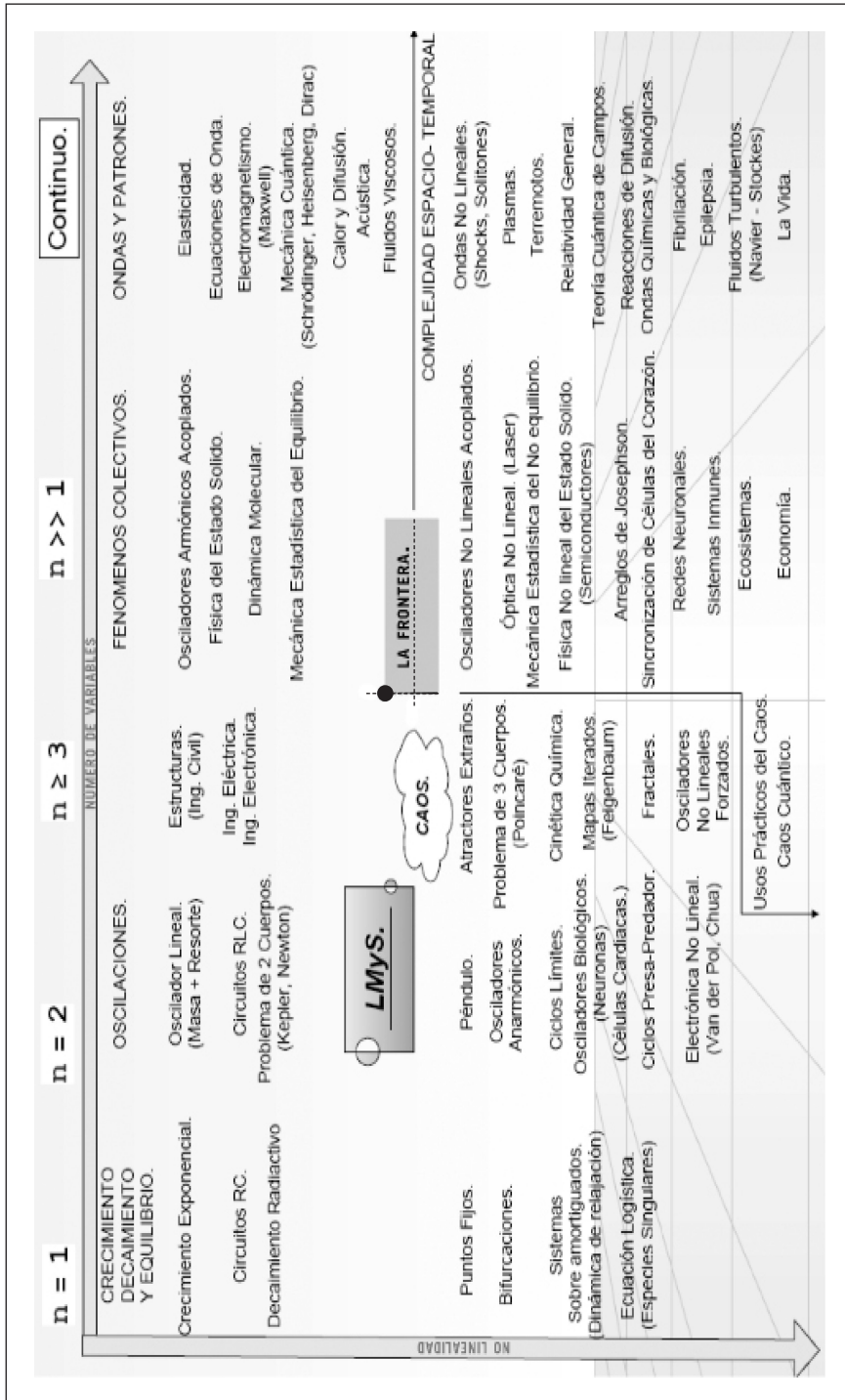
a efectos no triviales como la aparición determinística de transiciones entre estados de equilibrio llamados atractores.

Algunos sistemas no lineales pueden exhibir un comportamiento totalmente impredecible, que aunque determinístico, parece ser aleatorio. Este comportamiento “caótico” tiene una sensibilidad extrema ante las condiciones iniciales, tomando caminos muy distintos cuando las primeras varían ligeramente. Los sistemas caóticos podrían llegar a ser modelados con cierto grado de éxito usando otros parcialmente equivalentes (en cuanto al comportamiento) del tipo estocástico.

Otra posible forma de clasificación para los sistemas dinámicos según si el dominio del tiempo se mide usando números reales o enteros. El siguiente es un esquema ilustrativo que presenta un ejemplo de un modelo dinámico determinista según si el tiempo es considerado en términos continuos, o bien si lo es como tiempo discreto:



A su vez, el esquema siguiente da una idea generalizada, un mapa por así decirlo, de clases de dinámicas, tipos de sistemas y comportamientos; en fin, de áreas de estudio y problemas que sirven como referentes y puntos de partida para el trabajo de modelamiento y simulación. La primera fila  $n = 1$ ;  $n = 2$ , etc., hace referencia al número de variables. Sin embargo, es importante anotar que en complejidad, mayor número de variables no implica necesariamente (y por lo general, en manera alguna) mayor complejidad.



Las metodologías para el Laboratorio de modelamiento y simulación empresarial constituyen una alternativa para dar respuestas a las mediciones que se requieren en el tema de la administración de una empresa. Lo cual va de la mano con el estudio de la perdurabilidad empresarial, dado que para estudiar la perdurabilidad empresarial se requieren herramientas que identifiquen características de las empresas en un contexto de incertidumbre.

En la etapa de creación del Laboratorio, se han tenido en cuenta algunos estudios y usos de las metodologías se encuentra estudios cuyos indicativos más destacados son los siguientes. Sin embargo, es importante observar que los textos y logros relacionados a continuación no pretenden ser, en manera alguna, exhaustivos; sirven sencillamente como un indicador de algunos de los avances más importantes que hemos tenido en cuenta para la elaboración de la plataforma de lanzamiento del Laboratorio:

- TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE EN SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO PARA EMPRESAS. Instituto de Investigaciones y Asistencia Tecnológica en Administración, Escuela de Administración. Octubre de 1999.
- ESPÍN, RANDRADE. Modelos Formales, Gestión del Conocimiento e Inteligencia Empresarial: Experiencias y Planes.
- ESPÍN, R y E. Fernández.(1999) Fuzzy Logical Model of Bargaining. Foundation of Computing and Decision Sciences (FCDS).Poznan. Vol. 24 No. 4.
- ESPÍN, R y E. Fernández. (2000) Análisis difuso de coaliciones II. Revista Investigación Operacional. Universidad de la Habana. N0 3.
- ESPÍN, R y E. Fernández. (2000) Modelo Lógico Difuso para el Pronóstico del resultado de una negociación. Computación y Sistemas. Revista Iberoamericana de Computación. México. Vol. III N0 3.
- CASTILLO O. y Melin P. (1996): An Intelligent System for Financial Time Series Prediction Using Fuzzy Logic Techniques and Fractal Theory. Proceedings of International Conference on Intelligent Technologies in Human-Related Sciences, León, Spain, Vol. 1. 423-430.
- Mc Neil D. y Freiberger, P. (1993): Fuzzy Logic. Simon & Schuster, New York.
- Von Altrock C. (1995): Fuzzy Logic and Neurofuzzy Applications in Bussines and Finance. Prentice Hall, New Jersey.

- Dubois D. y Prade H. (1980): Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications. Academic Press Inc
- T. Smith, K. Lozano, S. Taniar, D. Parallel Fuzzy c-Means Clustering for Large Data Sets Kwok, Alemania 1999
- Sobrino, A. (1993). Estudios de lógica borrosa y sus aplicaciones. Imprenta Universida de Compostela, España.
- Arranz, M.R.; Garcillan, J.; González, A.; Macarro, M.J.; Pajares, M.; Pérez, P.: (1998). Ejercicios Resueltos de Matemáticas para la Economía: Optimización y Operaciones Financieras. A.C. Madrid.
- Villalba, D.; Jerez, M.: (1990). Sistemas de Optimización para la Planificación y Toma de Decisiones. Pirámide.
- Martín-Bofarull, M. Eficiencia, corto plazo y costes hundidos: Evidencia empírica para el sistema portuario español. Department de Economía, Universitat Rovira i Virgili Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
- Aplicación de la lúdica en la solución de un problema de investigación de operaciones: Quesos y yogures. Scientia et Technica Año X, No 26, diciembre 2004
- López, B.; Meléndez, J. Inteligencia artificial en los planes de estudio de informática e industriales. Una perspectiva desde el área de ISA.



## 5. Bibliografía

- Averill, M. Law and David W. Kelton. "Random Variates, Random Number Generation". *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill, 1991.
- Balci, O. "Discrete event world views: The implementation of four conceptual frameworks for simulation modeling in high-level languages". En M. Abrams, P. Haigh, y J. Comfort, editores, *Proceedings of the 1988 Winter Simulation Conference*, pp. 287-295. Society for Computer Simulation International (SCS), 1988.
- Cassandras, C. G. "Petri Nets and Timed Models". *Discrete Event Systems*. Springer, 1993.
- Cellier, F.E. *Continuous System Modelling Theory, Causality, Forrester System Dynamics, Bond Graphs: Continuous System Modeling*. Springer-Verlag, Nueva York, 1991.
- Clote, P. and Kranakis, E. *Boolean Functions and Computation Models*, Springer-Verlag, Berlín, 2002.
- Dorogovtsev, S. N. and Mendes, J. F. F. *Evolution of Networks*, Oxford University Press, Nueva York, 2003.
- Galushkin, A. I. *Neural Networks Theory*, Springer, Berlín, 2007.
- Gordon, G. *The Process Interaction Language GPSS. System Simulation*. Prentice Hall of India, 2a. ed., 1996.
- Harel, D. and Gery, E. "Executable Object Modeling with Statecharts". *IEEE Computer*, pp. 31-42, 1997.
- Hilding, E. et al. "Object-Oriented Non-Causal Modelling: Modelica - a Unified Object-Oriented Language for Physical Systems Modeling: Tutorial and Rationale". *The Modelica Design Group*. Diciembre 1999. <http://www.modelica.org/>.
- Junker, B.H. and Schreiber, F. *Analysis of Biological Networks*, John Wiley & Sons, Hoboken 2008.
- Murata, T. "Petri Nets: Properties, Analysis and Applications". *Proceedings of the IEEE*, 77(4): 541-580, abril 1989.
- Paterson, M. S. "Boolean Function Complexity", *London Mathematical Society Lecture Notes Series 69*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- Peters, A.K. "Numerical Simulation, System Dynamics"; Bossel, H.. *Modeling and Simulation Ltd.*, 289. Linden Street, Wellesley, 1994.

- Pogorzelski, W. and Wojtylak, P. *Completeness Theory for Propositional Logic*, Birkhauser, Basilea, 2008.
- Rudeanu, S. *Lattice Functions and Equations*, Berlin, Springer-Verlag, 2001.
- Shiff, J. *Cellular Automata: a Discrete View of the World*, John Wiley & Sons, 2008.
- Tarjan, R.E. *Data Structures and Network Algorithms. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics*. Society for Industrial & Applied Mathematics, 1983.(used for causality assignment)
- Wolfram, S. *A New Kind of Science*, Wolfram Media, 2002.
- Zeigler, B. P., Praehofer, H. and Kim, T. G. “The Foundations of Modelling and Simulation”. *Theory of Modelling and Simulation: Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems*. Academic Press, 2a ed., 2000.

## 6. Bibliografía por temas

### Temas

- Simulación discreta
- Conceptos de modelado y Simulación discreta
- Visión basada en eventos. Ejemplos con grafos de eventos
- Visión basada en procesos. Ejemplos con GPSS

Fishman, G. S. *Discrete Event Simulation. Modeling, Programming and Analysis*. Springer Series in Operations Research. 2001.

Zeigler B. P., Praehofer H. and Kim T. G. *Theory of Modelling and Simulation: Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems*. Academic Press, 2a. ed., 2000.

### Temas

- Modelado de software con UML 2.0
- Conceptos de modelado de software en UML
- Diagramas estructurales
- Diagramas de Clases y Objetos
- Diagramas de Comportamiento
- Diagramas de Colaboración
- Diagramas de Secuencia
- Ejemplo: Evaluación del Rendimiento Software
- Statecharts
- Diagramas de Actividades

Booch, G. and Rumbaugh, G. Jacobson, I. *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley, 1999.

Hennig, A., Wasgint, R. "Performance Modelling of Software Systems in UML-Tools for the Software Developer". *ESM'2002 Proceedings*, pp. 94-99.

Larman, C. *Applying UML and Patterns*. Prentice Hall. 2002.

Stevens, P. and Pooley, R. *Utilización de UML en Ingeniería del Software con Objetos y Componentes*. Addison Wesley, 2002.

## Temas

- Meta-Modelado
- Definición de notaciones visuales y Ejemplos
- Lenguajes Específicos de Dominio (DSVL)
- Caso de estudio: UML 2.0
- Gramáticas de Grafos
- Introducción a Model Checking
- Modelado Multi-Paradigma

Balbo, G. “An Introduction to Generalized Stochastic Petri Nets”. *Petri Nets World*. <http://daimi.au.dk/PetriNets/>

Baresi, L. and Heckel, R. *Foundations and Applications of Graph Transformation: An introduction from a software engineering perspective*. [presentacion (pdf)].

Clarke E. M., Grumberg O., Peled D. “*Model Checking*”. MIT Press. 1999.

Emerson, E. A. “*Temporal and Modal Logic*”. *Handbook of Theoretical Computer Science*, Vol B. Elsevier. 1990.

Model Checking @ CMU: <http://www-2.cs.cmu.edu/~modelcheck/>

Murata, T. “Petri Nets: Properties, Analysis and Applications”. *Proceedings of the IEEE*, 77(4): 541-580, abril 1989.

Página web de la herramienta Spin: <http://spinroot.com/>

Peterson, J.L. *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*. Prentice-Hall, INC., Englewood Cliffs, N.J. Nueva Jersey 1981.

Rozenberg, G., et al, (eds) 1997. “Handbook of Graph Grammars and Computing by Graph Transformation”. *World Scientific*. Vol. 1, 2 y 3.

Vangheluwe, H. *Curso Modelling & Simulation de la Escuela de Informática de la Universidad de McGill*, Montreal, Canadá: <http://moncs.cs.mcgill.ca>

Meta-Modelado, Multi-Formalismo, Múltiples niveles de abstracción. Los sistemas complejos (lógicos o físicos) necesitan modelarse combinando diversos formalismos. En esta sección introducimos un marco general

(modelado multi-paradigma) para el modelado, simulación y análisis de dichos sistemas.

De Lara, J., Vangheluwe, H. “AToM3: A Tool for Multi-Formalism Modelling and Meta-Modelling”. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Verlag.

“Fundamental Approaches to Software Engineering - FASE’02”. In *European Joint Conferences on Theory And Practice of Software - ETAPS’02. Grenoble*. France, abril 2002.

Sesión en el IEEE International Symposium on Computer-Aided Control Systems Design 2000: <http://www-er.df.op.dlr.de/kondisk/campam.html>

Vangheluwe, H. 2000. “DEVS as a common denominator for multi-formalism hybrid systems modeling”. *IEEE Symposium on Computer-Aided Control System Design*, pp. 129--134. IEEE Computer Society Press.