



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**MODELACIÓN MATEMÁTICA EN BIOLOGÍA.  
DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL PARA SU  
APLICACIÓN**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**BIÓLOGO**

P R E S E N T A

**AZAHARIEL RAMÍREZ GARCÍA**



**DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL**

FEBRERO 2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*México es un país megadiverso*

*Toledo, 1994*

*Dios le da pan al que no tiene dientes...*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Ricardo y Alejandrina. Por todo lo que me han dado, por el apoyo incondicional. Por esa capacidad de negociación de mi madre y el estoicismo de mi padre. Gracias.

A mis sinodales:

Al M. en C. Armando Cervantes. Por todos estos años de productividad. Empecé la carrera con él, y también me despidió de la carrera con él. Por facilitarme las instalaciones del Laboratorio, sus recursos y espacio.

A la M. en C. Patricia Rivera. Por su ayuda brindada para realizar esta tesis y su apoyo en el Laboratorio.

Al Dr. Isaías Salgado. Por sus consejos brindados, además de hacer que todo parezca sencillo.

Al Dr. Antonio Valencia. Por no desesperar hasta que todo este trabajo terminó y ser paciente con las observaciones.

Al I.Q. Enrique Laguna. Porque si hay que integrar, hay que consultarlo a él. No es fácil hacer parecer que las matemáticas son cosas sencillas.

A todos los profesores que han contribuido en gran medida a mi formación: Salvador Hernández, Eloy Solano, Carlos Castillejos, Efraín Ángeles, Eloisa Guerra, Mario Altamirano, Elia Roldán. Todos ellos han formado e influenciado un pedazo del biólogo que soy ahora.

Y pues... a una persona que no ayudó de mucho, nunca me pasó las respuestas, no hacía el trabajo por mí, no me pasaba trabajos de semestres adelantados, ni siquiera me sacó libros de la biblioteca, pero siempre estuvo para los guamazos, casi mi compadre: Beto (Jorge Alberto Gutiérrez).

A Ais. Todos estos años de idas y vueltas y sigues estando ahí. Porque me has cambiado la forma de ver el mundo. Eres mi Service Pack, para que funcione bien. Si hay que formatearme, tendrían que volver a instalarte al sistema operativo.

## ÍNDICE GENERAL

Resumen .....	III
1. Introducción .....	1
2. Marco Teórico .....	4
2.1. Educación en Línea .....	4
2.1.1. Ventajas de la educación en línea. ....	5
2.1.2. Desventajas de la educación en línea. ....	7
2.1.3. Moodle .....	10
2.2. Modelación .....	11
2.2.1. Modelación en la Ciencia .....	13
2.2.2. Modelación en Biología .....	17
2.2.3. Stella .....	18
3. Justificación.....	21
4. Objetivo General .....	22
5. Objetivos Particulares .....	22
6. Material y Método .....	23
6.1. Equipo (Hardware) .....	23
6.2. Programas (Software) .....	23
6.3. Contenido .....	23
6.4. Diseño .....	24
6.5. Desarrollo.....	24
6.5.1. Aprendiendo Dreamweaver .....	24
6.5.2. Usando Dreamweaver .....	24
6.5.3. Subir el sitio Web "Biomat" .....	24
6.5.4. Aprendiendo Moodle .....	25
6.5.5. Subir el Curso en Línea a Moodle .....	25
6.5.6. Prueba del Curso en línea .....	25
7. Resultados .....	27
7.1. Entorno Virtual.....	27
7.2. Curso en línea.....	27
8. Discusión de Resultados.....	60
9. Conclusiones .....	66
10. Bibliografía Citada .....	68
11. Bibliografía Consultada.....	71

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Conocimiento necesario para los diferentes usos de los modelos.	15
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre el método científico y el desarrollo de modelos.	14
Figura 2. Representación de un sistema (S) como una simple caja negra, con entradas (estímulo, E) y salidas (respuestas, R).	15
Figura 3. Ejemplo de un modelo de Stella mostrando los símbolos más usados.	20

**RESUMEN**

En el presente trabajo se desarrolló un sitio *Web* que trata sobre Biomatemáticas, titulado "Biomat". El sitio contiene cuatro grandes rubros: 1) Inicio, donde se da una pequeña bienvenida al sitio y una breve introducción a la temática del mismo; 2) Guías y Tutoriales, que contiene documentos electrónicos de guías sobre el uso de programas que se utilizan en la modelación matemática; 3) Cursos en línea, aquí se encuentran enlaces a cursos impartidos vía Internet que tratan sobre la modelación matemática de sistemas biológicos; y 4) Saber +, con enlaces a otras páginas de temas relacionados a las biomatemáticas y modelación.

También se realizó un curso en línea titulado "Modelación matemática de sistemas biológicos". El curso se aloja en la plataforma gestora de aprendizaje Moodle, la cual fue seleccionada por ser una plataforma de uso libre. El curso se desarrollo en su totalidad en código HTML, para después ser montado en Moodle. Trata sobre la modelación matemática de los sistemas biológicos, y se da al usuario una idea clara de la modelación, su campo de aplicación, ecuaciones importantes de la modelación en biología, diseño y desarrollo de modelos, ejercicios de modelado, y el conocimiento suficiente para modelar en cualquier campo de estudio.

Para los modelos biológicos se utilizó el programa de modelación dinámica Stella, él cual tiene un amplio reconocimiento y uso en instituciones de educación superior, además de manejar una interface gráfica que facilita su uso.

El curso consta de 7 capítulos: 1) Aspectos básicos, términos y conceptos, 2) Representación de energía y materia, 3) Pasos prácticos para construir un modelo, 4) Elementos matemáticos en la modelación, 5) Stella, aspectos generales, 6) Modelos más comunes con Stella, y 7) Más modelos y aspectos generales de la modelación dinámica. En total se tienen 91 pantallas, 7 foros de discusión, 4 actividades y 2 *Chat*.

De los resultados se concluyó que la educación en línea es una potente herramienta para dar a conocer de una manera más rápida y a la vez eficiente, las nuevas técnicas o métodos usados en la investigación biológica de vanguardia. Además de que la modelación matemática y computacional emerge como una técnica de estudio del comportamiento de los sistemas biológicos complejos. Actualmente la modelación es una herramienta fundamental para la formación del biólogo, ya que es un apoyo invaluable en el manejo y administración de los recursos naturales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Generalmente, existen dos formas de crear un producto científico: el proceso teórico y el experimental. En los últimos 30 años se ha dado un tercer tipo, la modelación matemática, la cual se puede colocar entre las dos anteriores. Además de los estudios teóricos y experimentales, un nuevo tipo de análisis —estudio de sistemas *in silico*— emerge en la Biología. El término “estudio *in silico*” se aplica para la modelación matemática y computacional, de experimentos realizados en el “síllice”, que es, la computadora (McCulloch y Huber, 2003). En realidad, la modelación *in silico* corresponde a un método de investigación teórica, aunque formalmente se desarrolla en el campo experimental. El término *in silico*, se usa de manera similar a los términos generales *in vivo* e *in vitro*, que hacen alusión a la obtención de los datos, ya sea por observaciones de organismos vivos o por ensayos en el laboratorio.

La caracterización de los sistemas biológicos ha alcanzado un nivel sin precedentes de detalle. Para organizar este detalle y llegar a un mejor nivel de comprensión, es imperativo que herramientas conceptuales de las ciencias físicas y matemáticas se apliquen a problemas biológicos, ya que todas las facetas de la Biología: poblacional, ambiental, celular y molecular, se han vuelto más accesibles a enfoques químicos, físicos y matemáticos.

La modelación matemática es una herramienta importante para el estudio de los sistemas biológicos, basta una revisión de bibliografía para darse cuenta de esto. Gran número de libros, se han publicado recientemente, que proporcionan una excelente ayuda sobre el diseño, construcción, uso y dinámica de modelos matemáticos aplicados sistemas biológicos (Gurney y Nisbet, 1998; Haefner, 2005).

Computadoras más rápidas y programas visuales, han ayudado a superar lo laborioso de crear modelos. Existen varias razones de por qué los biólogos deberían considerar a la modelación como un componente del conocimiento biológico. Los modelos proporcionan una oportunidad para explorar las ideas acerca de los sistemas biológicos que en muchos casos no son posibles de probar, ya sea por razones logísticas o financieras. El proceso de formulación de un modelo biológico resulta extremadamente útil para organizar el pensamiento, aclarar ideas e identificar datos importantes. Más aún, muchos científicos desean hacer algo con la modelación, pero no están muy seguros de cómo o por dónde

empezar. Es aquí donde se ubica este trabajo; dando el inicio de lo que es la modelación y una simple mirada de en dónde y cómo se puede aplicar, mediante la propuesta de un curso en línea sobre la modelación matemática.

Se dan las herramientas y el conocimiento para que se tenga una idea clara de la modelación, su campo de aplicación, ecuaciones importantes en la modelación biológica, diseño y desarrollo de modelos, ejercicios de modelado, y el conocimiento suficiente para modelar en cualquier campo de estudio.

¿Por qué un curso en línea? Cualquier persona que se encuentre conectada a la Internet por medio de una computadora podrá acceder al contenido que el curso ofrece. Sin importar horario o lugar desde donde se tome, gracias al Internet se han pasado barreras como tiempo y lugar. El grado de avance en el curso es responsabilidad y comodidad de quien lo toma. Las evaluaciones y actividades son responsabilidad de quien lo desarrolla. Más aún, las evaluaciones se convierten en autoevaluaciones que orientan al alumno en el aprendizaje, y las actividades se convierten en acciones que refuerzan el conocimiento adquirido.

Además, los cursos en línea según Corona y Zatarain (2002), están basados en una enseñanza enriquecida, donde los estudiantes interactúan gracias a la tecnología y los docentes la usan como apoyo a la docencia, en espacios educativos (aulas, bibliotecas, laboratorios) y la educación a distancia, donde los medios tienen un papel preponderante en la elaboración de materiales de estudio y en el establecimiento de una relación adecuada con los alumnos, que normalmente no está en una aula y que transforma todos los elementos del proceso educativo, a través de educación por correspondencia, radio, televisión, videoconferencias y múltiples medios. Universidades y corporaciones, han reconocido en la educación en línea, el poder para desarrollar a las personas, en lo referente a su desempeño, conocimientos y habilidades en su campo de trabajo. De tal forma que han gastado en presupuesto hasta 10 veces más de lo que lo hacían en 1999 (Henry, 2001).

Así pues, para cubrir con los objetivos, se tiene el presente trabajo, el cual consta de:

- **Justificación.** En ella se da la importancia que el uso de la computadora tiene en la Biología. Se conjuntan dos herramientas que la utilizan: la modelación y la educación en línea. Y de aquí se parte para generar el curso en línea.

- **Material y Método.** Donde se aborda:
  - El equipo de cómputo utilizado para generar los productos.
  - Los programas de cómputo utilizados para el desarrollo de los productos.
  - La selección de material y texto para el contenido del curso en línea (CeL) y el sitio *Web*.
  - El diseño del CeL, que permite la facilidad de uso y comprensión de contenidos. Además del diseño del sitio *Web*, amigable y sencilla.
  - Desarrollo del sitio *Web* y el CeL, donde se muestra el aprendizaje y uso de los programas para cumplir con los objetivos.
- **Resultados.** se muestran las pantallas que muestran el trabajo realizado.
- **Discusión de Resultados.** Se aborda la problemática para la realización del sitio *Web* y el CeL. La infraestructura necesaria, y con la que se contó, así como el recurso humano necesario y la forma en cómo fue solucionado.
- **Conclusiones.** Se muestran las ideas y conceptos a los que se llegó al término del trabajo, como son: diseño y desarrollo de un sitio *Web*, planeación y desarrollo de un curso en línea, la educación en línea como herramienta, todo esto en conjunto para mostrar la modelación matemática en Biología.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. EDUCACIÓN EN LÍNEA

En todas las disciplinas científicas, incluyendo la Biología, una alternativa para estudiantes que no pueden asistir a un salón de clases, personas que viajan mucho, o para gente en diferentes regiones del mundo (con zonas horarias diferentes o sin acceso a enlaces satelitales), es diseñar cursos que se puedan impartir completamente en línea, con base en la tecnología de Internet.

La educación en línea se define como una educación interactiva, donde el contenido se encuentra disponible a cualquier hora, y proporciona una retroalimentación automática a los estudiantes. Kaplan–Leiserson (2007) la definen como la educación que abarca un gran paquete de aplicaciones y procesos, tales como el Aprendizaje Basado en la *Web*, Aprendizaje Basado en la Computadora, Aulas Virtuales y Colaboración Digital. Incluye la entrega de sus contenidos via Internet, Intranet y/o Extranet (LAN/WAN), cintas de audio o video, transmisión satelital, televisión interactiva, o CD-ROM/DVD.

El potencial de la educación en línea para ayudar a extender y renovar las posibilidades de la interacción con el estudiante fuera de las aulas se está explorando alrededor del mundo. De cualquier forma, la brecha digital también tiene sus efectos en este contexto. La infraestructura y el conocimiento en las universidades de los países en vías de desarrollo usualmente se quedan cortos. Sin embargo, se está empezando a hacer un gran esfuerzo para cerrar esa brecha, y acercar a esas universidades a Internet. El esfuerzo se dirige principalmente a proveer infraestructura y recursos para conexiones de Internet. Digitalizarse es más que tener acceso, esto requiere cambios tanto en prácticas administrativas como en la estructura y dirección de cursos en línea.

Así, la educación en línea que ocupa Internet, incluyendo toda la gama de aplicaciones que tiene éste, se conoce como *e-learning* o *e-aprendizaje*, definiéndose como: la apropiada aplicación del Internet para soportar la entrega de educación, habilidades y conocimiento, en una aproximación holística sin límite en cursos, tecnología o infraestructura. Los principales componentes del *e-learning* son el contenido, la tecnología y el servicio (Henry, 2001).

Esto representa una gran oportunidad para difundir el conocimiento biológico, tan atractivo en colores y sonidos naturales. Además, los estudiantes que deciden tomar cursos en línea, de preferencia con orientaciones hacia el aprendizaje autodirigido, pueden elegir la posibilidad de estudiar de manera eficiente y más autónoma, aspecto que ofrece este tipo de cursos (Jones y Martínez, 2001).

El diseño pedagógico de una clase en línea comienza de la misma forma que una clase normal. La principal diferencia estriba en que la clase en línea no se puede apoyar en discusiones simultáneas que podrían ocurrir si los estudiantes se reunieran regularmente (ya sea en forma presencial o por videoconferencia) en un salón de clases. Adicionalmente, la clase presencial permite una cierta "flexibilidad", en tanto que la clase en línea requiere la preparación de las actividades de aprendizaje y los espacios de interacción por adelantado.

Las técnicas de evaluación se deben basar en el trabajo independiente del alumno, incluir elementos del trabajo en clase, artículos presentados y exámenes que no requieran supervisión. La técnica de evaluación es muy similar, si no es que completamente igual, a la forma de evaluar tradicional en un curso normal en aula. Más no así la preparación de los contenidos del curso (Alanís, 2004).

### 2.1.1. Ventajas de la educación en línea.

#### *Posibilidad de actualización de contenidos de forma rápida.*

La forma de comunicación de los estudiantes con sus compañeros, con sus profesores y viceversa hace posible que tanto el docente como el alumno puedan navegar en la red y acceder a las nuevas corrientes de pensamiento, a las nuevas ideas y a los acontecimientos de forma casi inmediata a su aparición. Ya no hace falta que un medio impreso publique los últimos avances en una materia o las últimas novedades, para que el docente y el alumno puedan reflexionar sobre ellas.

#### *Interactividad.*

Nunca antes se ha podido interactuar de la forma que hoy es posible, y no sólo se trata de una interacción enlatada con la máquina y el contenido, sino con los compañeros y docentes; el correo electrónico, los chats y foros de Internet, propician esta interacción de intercambio de ideas, de conocimientos y de experiencias. Los alumnos demandan cada vez más que su profesor y compañeros pongan a disposición de todos, sus

correos electrónicos, ser usuario de algún chat, y los más avanzados su dirección de página web.

#### *Visual.*

La sociedad está muy expuesta a la reproducción visual de fenómenos que antes nunca hubiera sido posible imaginar (en Biología, las imágenes del fondo del océano o del espacio son ya comunes, pero más aún las imágenes de elementos diminutos como micropartículas), esto hace que sea posible trabajar con estos elementos aún sin tener contacto físico con ellos. Ya no es posible captar la atención y el asombro de los estudiantes con imágenes desactualizadas y poco representativas de la realidad.

#### *Auditiva.*

La tecnología propicia que los contenidos enmarcados en textos se vean enriquecidos con guías verbales, que los discursos grabados apoyen el argumento, y esta posibilidad de enriquecer el texto con el audio y también video se da de forma muy propicia en el Internet, aunque las condiciones de acceso por conexión y precio pueden ser una limitante, cada vez son más superadas.

#### *Infinidad de recursos.*

Las posibilidades de acceder a la información se han vuelto exponenciales, diariamente se almacenan miles de datos en el Internet que se ponen a disposición de la humanidad, todos los acontecimientos pasados y presentes, descubrimientos, tendencias, se pueden acceder en esta gran red.

#### *Dinamismo.*

La forma tan dinámica en que se maneja el Internet hace que todos los días haya información actualizada, los temas más novedosos. Las discusiones epistemológicas más profundas y de mayor relevancia tienen su espacio en el Internet.

#### *Sin límites de tiempo y espacio.*

El espacio para aprender e interactuar con compañeros y profesores ya no se limita al espacio físico de una aula una vez a la semana, o una vez al mes. El aula virtual se concibe como un espacio continuo, donde se traspasa las limitaciones de un lapso de tiempo o área definida.

### 2.1.2. Desventajas de la educación en línea.

#### *Moda y medio para lucrar.*

La moda de tener sitio web también ha tenido sus efectos en la educación, todos los días se promocionan en la red cursos y carreras virtuales como una forma rápida, de menor tiempo y esfuerzo para obtener un certificado. No es raro ver que se ofrecen carreras por la mitad del tiempo de lo que normalmente se entregan. Cuando se piensa en la educación en línea se debe pensar en procesos serios y planificados, con metodologías propias que garantizan el alcance de los objetivos de aprendizaje.

#### *Traslado del texto del libro a la pantalla.*

Es fácil observar como aparecen cursos con textos o contenidos que han sido digitalizados, pero que no han recibido ningún tratamiento, no se aprovecha la red para insertar vínculos y sitios web de referencia o para integrar otros medios además del texto. Las opciones de la digitalización (enlaces, audio, video, animación) y de Internet se deben ver reflejadas en la pantalla, de lo contrario la rigidez del texto seguirá inalterada.

#### *Información vs. educación.*

Cargar un curso de información no garantiza que esta sea de calidad o que se dé el proceso de construcción de conocimiento. La información que se ponga a disposición en los cursos debe ser bien revisada según sus fuentes y según las referencias a otras fuentes que esta disponga, es importante que el docente y el alumno tengan medios para discernir la veracidad y calidad de esta.

#### *Costo inicial y de mantenimiento.*

Cualquier intento de digitalizar la educación debe ser bien pensado. La inversión en equipo, licencias o acceso garantizado, puede tener un costo inicial alto. Sólo un presupuesto bien planificado puede garantizar el éxito de esa inversión. En algunos casos se utilizan licencias para software o programas que ya son de acceso libre, un claro ejemplo de ello es las licencias para aulas virtuales.

#### *Tiempo para preparar e impartir cursos.*

El costo de preparar cursos o carreras virtuales o en línea es bastante alto, pues la parte del diseño del curso incluye una serie de actividades en las que se involucra a

todo un equipo: diseñadores gráficos, informáticos, expertos en educación, expertos en contenido, hasta expertos en comunicación, soporte para la administración del aula virtual y hasta filólogos. Se debe tener claro que si el curso ha de impartirse en línea tiene que tener un diseño de calidad que garantice la menor cantidad de contratiempos en la fase de desarrollo del curso. Además cuando ya el curso está en desarrollo es necesario cuidar los detalles; la atención en línea debe ser siempre clara y oportuna, y eso se logra solo con profesionales comprometidos y preparados para este tipo de retos.

*Expectativas que se generan en los estudiantes.*

Cuando las posibilidades de comunicación son tan altas, los estudiantes esperan que el profesor este al otro lado de la máquina cada vez que accede al curso o trabaja en este, los correos con preguntas se hacen diarios y nadie quiere, en un medio que se caracteriza por la rapidez, esperar por una respuesta, para evitar malas experiencias es ideal organizar todo el curso en la etapa de diseño. Inclusive es de mucha ayuda sistematizar la atención en el aula virtual, explicar por medio de una guía los tiempos de respuesta es una buena idea.

Sin llegar a utilizar los recursos que proporciona la educación en línea, el uso de la computadora como un apoyo docente en Biología es actualmente indispensable. Experiencias con el uso de la computadora en Biología se dan todos los días. Un registro importante de esto se da en la Facultad de Ciencias de la UNAM, según el Biólogo Jorge Moreno (2002), desde el 1996 se creó el Aula de Computo para la Carrera de Biología:

“Las actividades en el Aula de Cómputo han permitido que se consolide como una importante instancia de apoyo al proceso enseñanza-aprendizaje de la Biología, ha promovido la actualización de profesores en las nuevas metodologías de enseñanza, ha generado nuevas dinámicas en la enseñanza y el aprendizaje de la biología, se ha tenido una ganancia de tiempo en el desarrollo de algunos temas de los diferentes programas, así como en tiempo de uso del equipo de cómputo y de navegación en Internet. También se han podido conocer algunos requerimientos didácticos de algunos temas de las diferentes asignaturas lo que puede promover el desarrollo de software educativo, más específico lo que permitiría diseñar e implementar lecciones, laboratorios y libros virtuales entre otros, para apoyar estos problemas detectados.”

El uso del Internet ha sido exitoso en lo referente a la educación, al grado que instancias de educación superior como la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo en

conjunto con el Gobierno del Distrito Federal, desarrollan no sólo cursos para “preparatoria abierta”, en la que los alumnos toman asesorías que deben ser presenciales, también se incluyen cursos en línea, formando el Bachillerato Virtual Gratuito, donde por ser educación media superior, presenta contenidos de Biología, Matemáticas y Química (Gómez Alcaraz y Pérez Martínez, 2000).

En lo referente al uso de la educación en línea para temas relacionados con la Biología, se encuentran trabajos como el de Mancinas (1999), donde reporta una mejoría significativa en el aprendizaje utilizando un programa que trata el ciclo del agua. Lo anterior lo atribuye a dos principales razones: la primera es tener un sustento pedagógico que sirva de marco de referencia, y la segunda es la inclusión de elementos novedosos para los alumnos y profesores, haciendo más amigable un curso.

Hay una variedad de entornos virtuales de aprendizaje (EVA) o plataformas gestoras del aprendizaje que podrían sostener cursos en línea. Algunos de ellos con licencias comerciales (tal como el Web-CT o Blackboard), otros son desarrollados por las universidades para llenar sus necesidades (como el caso del PUEL en la UNAM). Finalmente, otros son desarrollados usando software libre, como Moodle, Sakai y Bodington. Aunque parece ser un proceso de convergencia, donde los desarrolladores de EVAs siguen a sus competidores y proporcionan algunas funciones comunes (foros de discusión, *Chat*, carga de documentos y facilidades de comunicación, entre otros), las plataformas se basan aún en diferentes enfoques pedagógicos. Idealmente las universidades deben escoger un EVA que se ajuste a su modelo pedagógico y sus necesidades de crecimiento (Zurita, 2006). El criterio de desarrollo para seleccionar el EVA es, por lo tanto, un proceso importante que requiere consideraciones cuidadosas.

Para el diseño y desarrollo del curso en línea (CeL) se utilizó la plataforma Moodle, por su facilidad de uso, además de contener todas las herramientas que proporcionan la interacción profesor-estudiante, foros de discusión, *Chat* y mensajes. Además de proporcionar tablas y estadísticas sobre el avance de los alumnos, lo que permite darle seguimiento a su aprendizaje.

### 2.1.3. Moodle

Su principal característica es su licencia Pública GNU, conocida como de “software de uso libre”. Esto significa que Moodle no tiene ningún costo por su adquisición, y que sus derechos de autor permiten su copia, uso o modificación, además de proporcionar el código fuente del programa.

Moodle es un acrónimo de *Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment* (Entorno Modular de Aprendizaje Dinámico Orientado a Objetos), así que resulta útil para programadores y teóricos de la educación. Además de proporcionar un ambiente amigable para trabajar con él. Por lo tanto no es necesario tener grandes conocimientos de la programación o diseño para su utilización.

Moodle, es una plataforma gestora del aprendizaje, de software libre, basada en principios pedagógicos del constructivismo y del construccionismo, según los cuales el alumno es el responsable de su propio aprendizaje, y el profesor deja de ser el transmisor de conocimientos para convertirse en el guía del alumno en este proceso, todo ello dentro de un entorno que facilita la comunicación de todos los participantes (Guardeso Navarro y Enríquez Borja, 2007).

Moodle es una buena herramienta de apoyo en la educación, ya que permite mayor facilidad de acceso a él en cuestiones de costos comparado con otras plataformas educativas que resultan muy costosas. Por otro lado, resulta muy útil disponer de su código fuente, lo que implica que se le pueden hacer modificaciones para adecuarlo a ciertas necesidades específicas de quien lo utiliza, contribuyendo a la vez a mejorar el desarrollo de esta nueva tecnología. Al ser un sistema de código abierto con una acogida espectacular en el sector educativo, más de 200.000 usuarios en 150 países, 70 idiomas y 12,000 sitios registrados (Burgos y Corbalan, 2006), las ampliaciones y módulos de extensión se suceden con gran rapidez, pudiendo personalizarse ampliamente.

Esta plataforma cumple varias funciones a la vez, las cuales ayudan al docente en su trabajo, ya que puede utilizarse como una base de datos para almacenar las calificaciones de los alumnos en diferentes tareas y exámenes, también sirve como un medio de comunicación en línea con los alumnos, ya que permite programar actividades como chat, consulta, diario, encuesta, foro, glosario, taller, tareas y lecciones, así como también poner a disposición de los alumnos recursos enlazados como archivos de texto, páginas web, directorios y etiquetas. Con lo anterior se hace hincapié en la utilidad que

tiene Moodle como herramienta de apoyo en la impartición de cursos en línea o híbridos (Rodríguez Carbajal, *et al.*, 2002).

Aunado a lo anterior, hay una infinidad de estudios comparativos que han llevado a gran diversidad de instituciones a considerar Moodle como la mejor opción, como son la La Universitat Jaume I de Castellón (Francia), la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (España), la Open University (Reino Unido), Institute of Technology Sligo (Irlanda), la Università Cattolica del Sacro Cuore de Milan (Italia), la Technical University of Ostrava (República Checa), Universidad Pedagógica José Martí de Camagüey (Cuba), entre otras. (López y Sein-Echaluze, 2006).

Una de las áreas de mayor abstracción y complejidad es la aplicación de conceptos y herramientas matemáticas a la modelación de procesos biológicos, por lo que el uso de Moodle puede ampliar las posibilidades de estudio, comprensión y adquisición de aprendizaje significativo en la investigación biológica.

## 2.2. MODELACIÓN

Un modelo matemático de un fenómeno o situación problema es un conjunto de símbolos y relaciones matemáticas que representa, de alguna manera, el fenómeno en cuestión. El modelo no sólo permite obtener una solución particular, sino que también sirve de soporte para otras aplicaciones o teorías. En la práctica, el conjunto de símbolos y relaciones puede estar vinculado a cualquier rama de las matemáticas, en particular, a los instrumentos fundamentales de las aplicaciones matemáticas (Biembengut, 1999).

Los científicos modelan por diversas razones. Hall y Day (1977) consideran tres usos principales de la modelación: comprensión, aproximación y optimización. Los modelos pueden ser utilizados para generar una imagen conceptual de cómo un sistema de interés podría trabajar. En la mayoría de los casos, los modelos son generados antes de cualquier estudio de laboratorio o campo, y su principal propósito es examinar qué características son las más críticas en el comportamiento de un sistema dado. Dado lo anterior, después de las mediciones tomadas al sistema, los modelos se pueden usar para hacer aproximaciones al sistema. Finalmente, mediante la modelación que prediga el comportamiento de un sistema, los científicos podrían saber qué condiciones conducen a un estado óptimo en el sistema.

La modelación es una de las más importantes actividades durante el proceso de análisis, síntesis, control, simulación y diseño, de sistemas. Su objetivo es producir un modelo que contenga las ecuaciones (con evaluación numérica) y que proporcione la idea del comportamiento de un proceso dado. El modelo se comprende como el mapeo de la relación entre las variables físicas a estructuras matemáticas, como son las ecuaciones diferenciales.

El modelador debe tener dos cualidades al momento de diseñar modelos: un buen conocimiento del fenómeno y la habilidad de trasladar el fenómeno y su estructura a la notación matemática. Varios procedimientos se han propuesto para formalizar y definir la metodología de construir modelos, sin embargo, la mayoría termina en recomendaciones basadas en reglas no muy definidas del "sentido común".

Además del manejo masivo de datos y cálculo de relaciones entre ellos, otro importante uso de las computadoras es la modelación, usada para describir la dinámica de los procesos biológicos y probar las suposiciones hechas. Así, la computadora juega un papel importante en la definición de fenómeno y la generación de modelos matemáticos. En el diseño, la representación simplifica la descomposición del sistema en varias partes, obteniendo subsistemas que se pueden modelar por separado.

La modelación en general, en los últimos años ha sufrido un vuelco, debido a la existencia de herramientas de mayor capacidad para modelar sistemas complejos. Estas herramientas van desde un sustento teórico más amplio, mejores algoritmos matemáticos para la modelación y mayor capacidad de procesamiento de información debido a los avances de la computación (Fernández Quiroga, 2005). La biología, botánica y otras ciencias afines no han estado ajenas a esto, uniéndose a la tendencia mundial de manejar modelos más complejos que permitan experimentar en "laboratorios virtuales" el desarrollo de los fenómenos en estudio.

En Biología, la modelación es necesaria para entender los procesos naturales, ya que su complejidad es generalmente abrumadora. Por lo que los modelos generados se deben revisar frecuentemente y comparar con las condiciones del mundo real, para asegurar que su representación es adecuada, o al menos para tener evidencia de que la forma en que se está abordando no es la adecuada.

### 2.2.1. Modelación en la Ciencia

El método científico en las ciencias naturales, en general, se desarrolla con los siguientes pasos: observación, hipótesis, predicción y experimentación. Es en la hipótesis, donde se plantean las ideas a contrastar y que se expondrán en un modelo. Así pues, las salidas que genera el modelo se validarán mediante la experimentación u observación (Grimm, 1994). En la Figura 1 se muestra lo anterior, reforzando una idea principal: los modelos producen predicciones que pueden ser probadas, y su campo de acción es tan grande como las actividades que la ciencia realice.

Según Haefner (2005), existen tres principales usos de los modelos en la ciencia:

*Comprensión* – de un sistema cualquiera, ya sea sistema físico o lógico, cómo alguna teoría científica.

*Predicción* – del futuro, o de algún estado que actualmente es desconocido.

*Control* – para forzar o manipular un sistema para producir una condición deseable.

Un sistema se puede considerar como una caja negra (objeto de estudio, **S**) con una entrada (estímulo, **E**) y una salida (respuesta, **R**) (Figura 2). Una estructura adicional en la forma de los objetos y relaciones se podría dar dentro de la caja, pero la idea en general es considerar solamente un simple objeto de estudio. La salida se produce por la reacción del sistema a la entrada. Por ejemplo, el sistema **S** puede ser una planta, el estímulo **E** es la cantidad de fertilizante adicionado al suelo, y la respuesta **R** es la cantidad de nuevo crecimiento.

Este mismo esquema enlaza a los tres principales usos de los modelos, con los tres problemas generales que el científico presenta, sea cual sea su área de estudio:

*Síntesis* – Usa el conocimiento de entradas y salidas para inferir las características del sistema.

*Análisis* – Usa el conocimiento de las partes del sistema y sus entradas (estímulos) para explicar las respuestas observadas.

*Instrumentación* – Usa el conocimiento de las partes del sistema y sus salidas (respuestas) para explicar cuáles fueron sus entradas (estímulos).

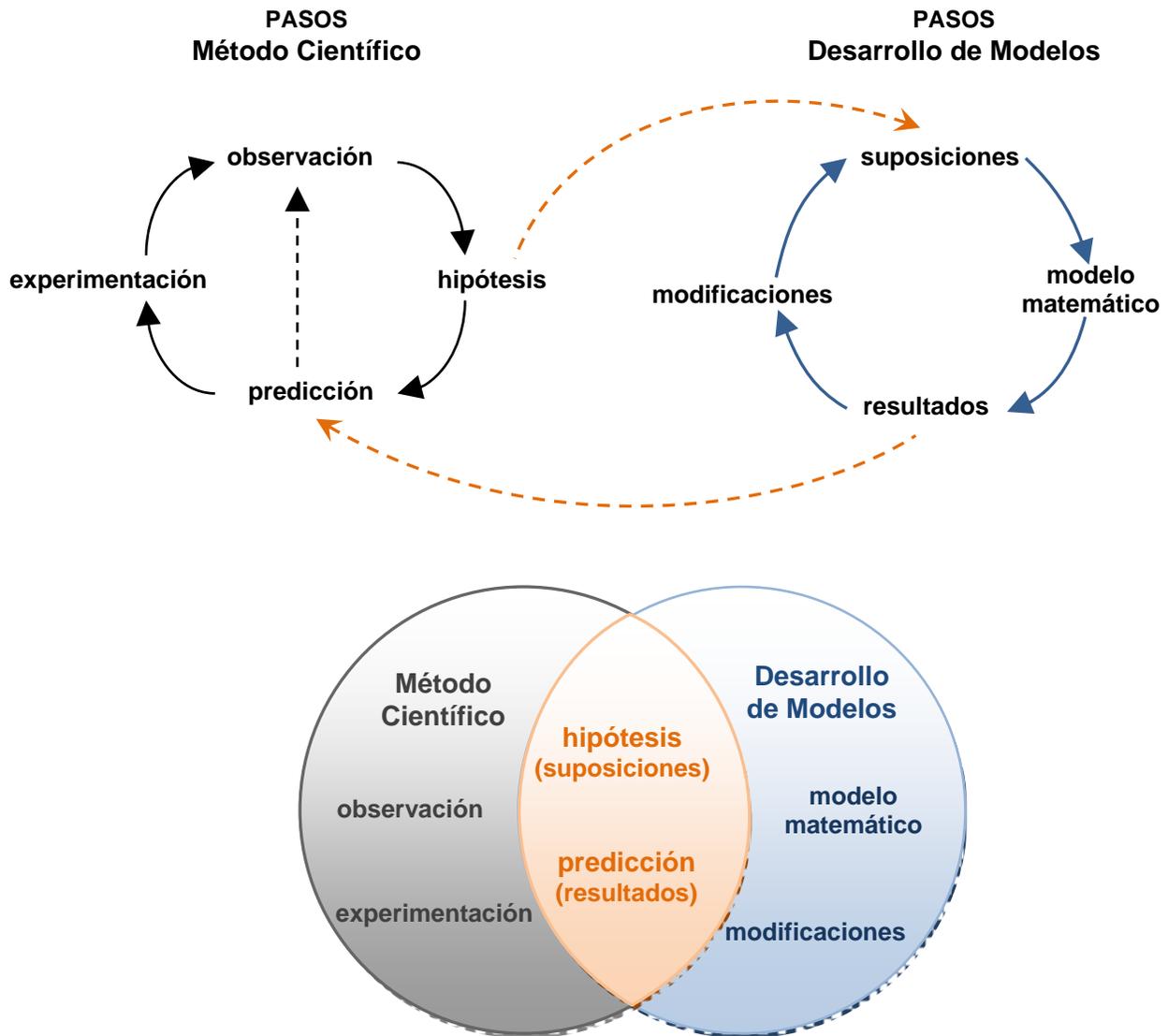


Figura 1. Relación entre el método científico y el desarrollo de modelos. Arriba: se muestran los pasos del método científico y los pasos para desarrollar modelos; las flechas con línea punteada muestran la relación que existe entre “hacer ciencia” y “hacer modelación”. Abajo: Mostrado en un diagrama de Venn-Euler, como “hacer ciencia” y “hacer modelación” están ligados mediante las hipótesis-suposiciones y las predicciones-resultados. Tomado y modificado de Grimm (1994).



Figura 2. Representación de un sistema (S) como una simple caja negra, con entradas (estímulo, E) y salidas (respuestas, R).

Cuadro 1. Conocimiento necesario para los diferentes usos de los modelos.

Tipo de Problema	Conocimiento	Para encontrar	Uso del modelo
Síntesis	E y R	S	Comprensión
Análisis	E y S	R	Predicción
Instrumentación	S y R	E	Control

Además, Harmand *et al.* (2004), menciona los principales usos de la modelación en Biología:

1. *Diseño.* La tendencia (al menos en los países industrializados) apunta hacia la concepción de procesos intensivos más que extensivos bajo fuertes restricciones económicas y ambientales. En este marco, es claro que las matemáticas y la informática juegan un papel fundamental en los problemas de dimensionamiento e integración de sistemas. Así pues, se pasa de una concepción a partir de reglas empíricas a una concepción realmente científica —y justificada en el plano matemático— de los procesos.
2. *Adquisición de conocimiento y simulación.* El punto anterior pone en evidencia la necesidad de disponer de modelos para describir correctamente las dinámicas de nuevos procesos. En numerosos problemas de modelación intervienen la descripción y caracterización de los ecosistemas involucrados, introducción de una o más dimensiones espaciales y la caracterización de las relaciones entre

componentes. Estas áreas de investigación requieren del análisis matemático para establecer las propiedades genéricas de los procesos descritos por los modelos desarrollados.

3. *Estimación.* Este punto lleva a recordar una realidad: la falta crucial de conocimiento para su aplicación a un problema de modelación, de control o de caracterización de un proceso biológico. En este contexto, el desarrollo de algoritmos de estimación de variables está más de moda que nunca.
4. *Supervisión y el diagnóstico.* En algunos ensayos de laboratorio, se requiere de la continua supervisión para la obtención de resultados. Esto puede animar a investigadores a desarrollar y probar nuevas técnicas de detección y localización de efectos, llevando a la reconfiguración y supervisión del sistema de estudio.

Con el modelo en computadora de un sistema biológico, se puede aprender de sus características experimentando con él. Así, se pueden cambiar las condiciones iniciales y observar los efectos. Se puede encontrar que con el software de modelación dinámica visual es relativamente fácil experimentar, para preguntarse: *qué pasa si le cambio esto o lo otro* y fácilmente ver los resultados. El software permite construir modelos creando diagramas, esquemas o representaciones visuales de un sistema, para entonces asignarle los valores apropiados y funciones a los componentes.

Más aún, los modelos deben de tener ciertas propiedades para poder representar a nuestro sistema de estudio (Orzack y Sober, 1993):

*Realismo.* Grado con el cual la estructura del modelo semeja al mundo real. En los modelos teóricos, las ecuaciones aparecen correctas y se ve reflejado en la respuesta del modelo. En los modelos físicos (cómo modelos a escala), el detalle físico se encuentra a un nivel muy alto. "Si un modelo toma en cuenta más variables independientes conocidas para explicar un efecto, entonces los resultados esperados describirán mejor la realidad."

*Precisión.* Es la veracidad de las predicciones del modelo (respuestas, salidas). Las salidas del modelo se encuentran a escala de las que ocurren en el mundo real. Por ejemplo: el flujo de aire en un modelo de un avión a escala es exactamente igual al flujo de aire en un avión real. "Si un modelo genera predicciones puntuales en los parámetros de salida, entonces es más preciso."

*Generalidad.* Es el número de sistemas o situaciones en las cuales el modelo se aplica correctamente. Es mejor que un modelo se pueda aplicar tanto a sistemas sencillos como a sistemas complicados. "Si un modelo se puede aplicar a más sistemas del mundo real que otro, entonces es más general."

### 2.2.2. Modelación en Biología

Existen, al menos, cuatro áreas en la Biología donde la modelación juega un papel importante (NSF, 1996).

#### *Ecología y evolución.*

Los principales retos que enfrentan los ecólogos y biólogos evolutivos se relacionan con las amenazas de pérdida de la biodiversidad, cambio climático, así como investigación en sustentabilidad. La modelación ayuda a resolver preguntas del tipo: cómo son las interacciones entre especies, desde la interdependencia de un hospedero y parásito hasta conexiones tan difusas como una especie de planta y un bosque, manifestando sus patrones coevolucionarios y su vida en escala evolutiva; cómo son las relaciones entre especies tan cercanas, en términos de su historia filogenética; cuál es la influencia humana por el uso de antibióticos y pesticidas, la pesca y explotación de la tierra; cuáles son los patrones de cambio climático, la influencia en la dinámica evolutiva de las especies y patrones de colonización; hasta qué punto puede una perspectiva evolutiva ayudar al ser humano a prepararse para el futuro, en términos del conocimiento de qué especie estará mejor preparada a nuevos ambientes.

#### *Biología celular y molecular.*

El estudio de cómo el ADN se puede replicar y almacenar la información, es uno de los principales objetivos dentro de la modelación. Una estructura tridimensional mostraría cuáles son las moléculas funcionales, por lo tanto, las matemáticas, la química y la física juegan un papel importante para dilucidar las relaciones estructura-función en la biología. Las metodologías para la simulación primero fueron diseñadas por físicos y químicos, así se pasó a la simulación de moléculas de interés biológico. Es claro, que la naturaleza de la síntesis biológica es muy compleja y envuelve a bastantes círculos de retroalimentación, así como a mecanismos de seguridad contra fallas. Las herramientas matemáticas son esenciales para comprender todo lo anterior.

*Biología de los organismos.*

El área central de este tipo de modelos es la célula como sistema, cómo es su comportamiento y función, respecto a los niveles de organización; cómo es su estructura e interacciones entre componentes. Aunque algunos componentes celulares tienen un papel molecular, en algunos modelos, el objetivo no es la estructura de las moléculas, sino la actividad que desempeñan en funciones celulares y multicelulares.

*Educación.*

Dado que las técnicas de modelación matemática juegan un papel importante en diversas áreas de la biología, existe una clara necesidad para aprender cómputo y matemáticas, tanto como biología teórica. Mecanismos convenientes y prácticos para alentar la educación en cómputo biológico deben incluir:

Programas que garanticen temas experimentales y computacionales.

1. Comunidades que animen a matemáticos y programadores para realizar investigaciones en biología, y así facilitar a los biólogos la adquisición de habilidades computacionales y de modelación.
2. Cursos que ayuden a practicar a biólogos, matemáticos y programadores, para empezar a acortar las diferencias entre disciplinas bastante diversas.

### 2.2.3. Stella

Existen gran variedad de programas para la modelación. Las principales tendencias son la calidad del modelo conceptual y el código generado en la computadora. Se presentan "paquetes" de programación que pueden ayudar a convertir un modelo conceptual a un modelo que se ejecute en una computadora.

Dado lo anterior, en un extremo se encuentran los lenguajes de programación que se pueden usar para trasladar cualquier concepto y conocimiento a un código computacional. Por otro lado, existen implementaciones de modelos particulares que son satisfactorios en los sistemas y condiciones individuales para las cuales fueron diseñados.

En un punto medio, están los programas de modelación dinámica visual. Los cuales son paquetes de programa que no permiten adiciones al código y métodos ya provistos.

Stella es uno de los primeros sistemas de modelación dinámica en alcanzar amplio reconocimiento y uso, debido en gran parte a una interface gráfica amigable. Las ecuaciones diferenciales lineales se generan automáticamente. La sensibilidad a las condiciones iniciales o a los valores de los parámetros pueden ser calculadas con análisis de varias "corridas" del modelo (Hannon y Matthias, 1994). El comportamiento estocástico se puede introducir mediante valores de parámetros aleatorios, aunque la evolución probabilística de un modelo no es fácilmente calculable (Goel, *et al.*, 1997).

Stella es un programa fácil de usar con una interface iconográfica para facilitar la construcción de modelos de sistemas dinámicos. Incluye un lenguaje de programación útil para ver y analizar las ecuaciones que son creadas como resultado de la manipulación de los iconos. Las características esenciales del sistema a tratar están definidas en términos de acumuladores (stocks) (variables de estado), flujos (entradas y salidas de las variables de estado), variables auxiliares (otras relaciones algebraicas o gráficas, o parámetros fijos), y flujos de información. Matemáticamente, el sistema conduce a la formulación de modelos como sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias y se resuelven numéricamente como ecuaciones de diferencias. El usuario coloca iconos por cada acumulador en el área de modelación y entonces los conecta mediante flujos de relaciones de materia o información. Después el usuario establece las relaciones funcionales que correspondan a esos flujos. Estas relaciones pueden ser matemáticas, lógicas, gráficas o numéricas, permitiendo el programa bastante flexibilidad en este aspecto.

Así, el usuario puede generar una estructura completa, algo parecida al diagrama que se muestra en la Figura 3.

Los acumuladores representan reservorios de materia, tales como población, biomasa, nutrientes o dinero. Los flujos de materia entre acumuladores, o dentro y fuera de fuentes no definidas, están representadas por las nubes al final de las estructuras de flujo. Los flujos son afectados por variables auxiliares, acumuladores y otros flujos por el uso de vectores de información. Las variables auxiliares pueden tomar la forma de constantes, funciones matemáticas o gráficas y grupos de datos. Una vez creados, los acumuladores y las variables se pueden duplicar con fantasmas y usar en otra parte del modelo, evitando así, la mezcla de vectores de información en el modelo (que hace parecer como espagueti o tripas de gato el área de modelación). Un gran modelo se

puede fraccionar en porciones más pequeñas, que corran independientemente o simultáneamente para facilitar su corrección.

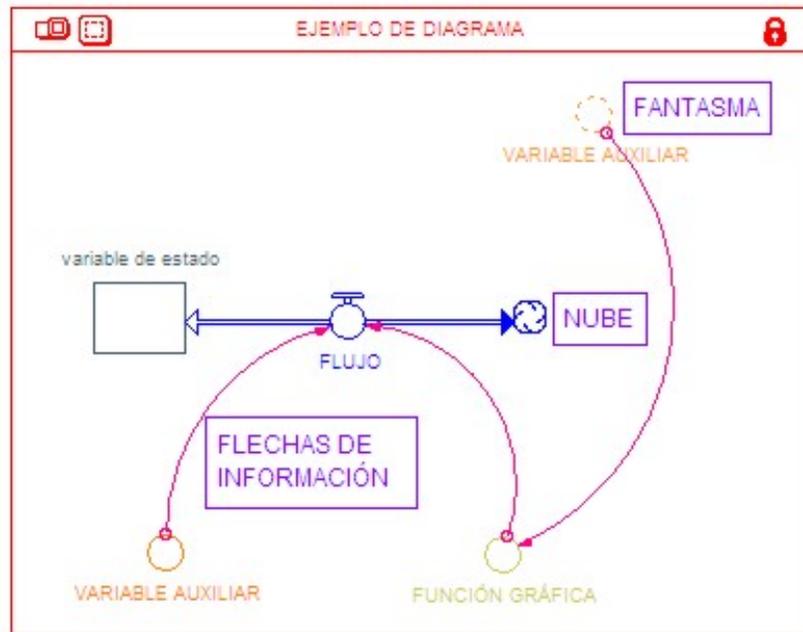


Figura 3. Ejemplo de un modelo de Stella mostrando los símbolos más usados.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Los modelos proporcionan una oportunidad para explorar ideas referentes a los sistemas biológicos que no se pueden probar en campo, ya sea por razones logísticas, políticas o financieras. El uso de modelos matemáticos para describir procesos biológicos, son una importante herramienta para la comprensión de su funcionamiento: explicación de datos, formulación de hipótesis o predicciones.

La educación en línea presenta la ventaja de poner a disposición, de una gran cantidad de personas, los conocimientos generados. Adicionalmente, se generan aulas y entornos virtuales que facilitan el aprendizaje, reforzando así el conocimiento obtenido.

La conjunción de estos dos elementos, educación en línea y modelación matemática, con la computación como un medio en común. Permite generar entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje que permitan poner a disposición de profesores y estudiantes, los conocimientos básicos y la enorme gama de aplicaciones que puede tener la modelación en Biología.

#### **4. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un prototipo de entorno virtual para el entendimiento y aplicación de la modelación matemática en Biología.

#### **5. OBJETIVOS PARTICULARES**

Diseñar y desarrollar un sitio *Web* sobre Biomatemáticas.

Conceptualizar, diseñar y desarrollar un curso en línea sobre la Modelación Matemática en Biología.

Generar un entorno virtual sobre la modelación matemática de procesos biológicos y el uso de herramientas de Modelación Dinámica.

## **6. MATERIAL Y MÉTODO**

### **6.1. EQUIPO (HARDWARE)**

El principal equipo utilizado para el diseño y desarrollo del entorno virtual (EV) y el curso en línea (CeL) fue: computadora de escritorio con procesador Intel® Core™2 Duo E6550 @2.33 GHz, 2 Gb en memoria RAM, disco duro de 320 Gb, monitor con profundidad de color de 34 bits y resolución de 1152 x 864 pixeles.

### **6.2. PROGRAMAS (SOFTWARE)**

Sistema operativo: Windows XP Home (5.1.2600) Service Pack 2.

Editor HTML: Dreamweaver 8.

Editor de imágenes: Corel PHOTO-PAINT X3.

Editor de animaciones: Flash Professional 8.

Plataforma de Aprendizaje: Moodle 1.7.4.

### **6.3. CONTENIDO**

Para la búsqueda, selección y síntesis del contenido e información del EV y CeL se realizó una exhaustiva revisión tanto de trabajos publicados, publicaciones electrónicas y memorias (congresos, seminarios, jornadas). La revisión bibliográfica comprendió el ámbito de la educación en línea, modelación, modelación en biología y el uso de Stella como programa de modelación.

La información encontrada y utilizada en este documento se dividió en dos áreas:

La utilizada en el EV (programas de modelación dinámica, matemáticos y/o estadísticos), tales como guías y tutoriales de modelación, páginas de internet con información de interés, y cursos en línea enfocados al área de estudio.

La utilizada en el CeL, la cual se agrupó en aspectos básicos y conceptos de modelación, desarrollo de un modelo, matemáticas en la modelación, Stella y su uso, ejemplos de modelos con Stella.

## 6.4. DISEÑO

Tanto el EV como el CeL se diseñaron pensando en la facilidad para acceder y navegar entre las páginas por parte del usuario. Páginas simples y reducidas en texto hacen que la comprensión sea rápida y eficaz. En el caso del texto en el CeL se hizo con tipografía que permitiera la fácil lectura; algunos diagramas y gráficas se realizaron con animación para hacerlos más llamativos y así apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

## 6.5. DESARROLLO

### 6.5.1. Aprendiendo Dreamweaver

Para la creación del EV y del CeL se utilizó Dreamweaver 8. Para lo cual se realizaron lecturas de libros y guías sobre el uso de Dreamweaver, así como el seguimiento del tutorial de "Primeros Pasos con Dreamweaver" proporcionado por el mismo programa.

### 6.5.2. Usando Dreamweaver

Las páginas del EV y del CeL están desarrolladas en código XHTML, también se empleó una pequeña hoja de estilos (CSS) para agregar efectos en los enlaces y dar formato al texto.

Ambos *sitios Web* fueron creados como si el servidor fuera la computadora en la que se trabaja directamente (servidor local).

En lo referente al CeL, cada capítulo es una carpeta, teniendo así 7 carpetas.

Las imágenes utilizadas se encuentran en una carpeta diferente llamada "img", localizada en el directorio raíz.

Las fórmulas se escribieron en Word con ayuda de MathType. Éstas a su vez se pasaron a imagen tipo JPG para agregarlas a las *hojas Web*.

Se tiene un archivo de hoja de estilos llamado "principal", localizado en el directorio raíz.

### 6.5.3. Subir el sitio Web "Biomat"

Para poner en Internet el sitio Web se transportaron los archivos al servidor. El programa utilizado como servidor *Web* es Apache, él cual asigna una dirección IP a nuestra carpeta que contiene los archivos (páginas, imágenes y css). Después se le asigna una DNS, para que se acceda a Biomat desde cualquier parte del mundo via Internet.

#### 6.5.4. Aprendiendo Moodle

Para a manejar la plataforma de aprendizaje Moodle se tomó el curso introductorio “Curso Básico de Moodle para Docentes”, alojado en la misma plataforma. También se consultó la documentación oficial de Moodle, tomada de la página [http://docs.moodle.org/es/Acerca\\_de\\_Moodle](http://docs.moodle.org/es/Acerca_de_Moodle), en donde existe una pequeña introducción para el área de trabajo de Moodle.

#### 6.5.5. Subir el Curso en Línea a Moodle

Cada carpeta del curso, junto con la carpeta de imágenes se comprimieron en formato ZIP y se “subieron al directorio del curso en línea”. Después se descomprimieron para así tener los archivos tal y como se tenían en la computadora donde se realizaron.

Ya en Moodle se utilizó la herramienta “Enlazar a un archivo o una Web”. Donde enlazamos todas las *páginas Web* (de entrada) que contiene nuestro curso. Quedando de esta manera todos los temas y subtemas dentro del contenido del curso.

Cabe aclarar que la carpeta en Moodle, donde alojamos todo el CeL, es idéntica a la carpeta localizada en la computadora donde se desarrolló. Esto implica que todos los enlaces a páginas subsecuentes, el origen de las imágenes y el origen de archivos de animación se conservaron idénticos. Y funcionan de igual manera tanto en la computadora en donde se desarrollo, como en cualquier computadora que tenga abierto el curso en Moodle y lo tome en línea.

A cada capítulo del CeL se le agregó un foro de discusión, referente al capítulo.

#### 6.5.6. Prueba del Curso en línea

Se realizó una prueba piloto, donde una parte muy importante del CeL fueron las actividades y evaluaciones para el curso. Se tuvieron 3 actividades y una evaluación por semana.

También se tomó en cuenta la participación en tiempo real en el curso, organizando un Chat por semana en dos horarios diferentes, por la mañana y por la tarde.

##### 6.5.6.1. Duración

2 semanas, del 14 al 25 de enero de 2008. Pensado en que se le dedicará al menos 2 horas diarias.

#### 6.5.6.2. Tipo de usuarios

5 profesores de la carrera de Biología, 1 profesor externo, 2 estudiante de maestría, 2 tesisistas, 2 alumnos de la carrera de Biología.

#### 6.5.6.3. Objetivos

Encontrar enlaces rotos o falta de algún archivo.

Observar la respuesta al curso, impresiones y dudas.

Observar el tipo de avance en el curso. Si el curso es rápido o tiene un avance lento.

Registrar posibles modificaciones al curso para su mejor funcionamiento.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. ENTORNO VIRTUAL.

Se desarrolló un sitio en Internet que consta de cuatro páginas:

Página de Bienvenida: Se da una pequeña introducción sobre la temática del sitio, donde la premisa principal es la modelación matemática de procesos biológicos.

Página de Guías y tutoriales: Enlaces para descargar algunas guías sobre modelación, matemáticas y estadística.

Página de Cursos impartidos en línea: Enlaces hacia cursos que se imparten vía Internet, dando una breve descripción del curso.

Página para Saber más: Enlaces hacia páginas de interés, sus temas también son la modelación, matemáticas y/o estadística.

Al ser pocas las páginas, su navegación es sencilla, de tipo no lineal, donde no hay jerarquización de páginas o una vía determinada.

El sitio se encuentra en la dirección <http://enlinea.zaragoza.unam.mx/biomat>.

### 7.2. CURSO EN LÍNEA.

Consta de 7 capítulos:

- 1. Aspectos básicos, términos y conceptos.** Aspectos básicos sobre sistema, modelo y modelos dinámicos. Construcción de un modelo. Modelos por computadoras. Modelos determinísticos y estocásticos.
- 2. Representación de energía y materia.** Representación gráfica de elementos tales como: fuentes, pozos de calor, almacenaje, consumidores, productores, compuertas de trabajo, módulos de flujo-control. Integración en diagramas de éstos elementos. Representación gráfica de procesos biológicos.
- 3. Pasos prácticos para construir un modelo.** Objetivos. Estructura y construcción. Análisis de sensibilidad. Validación de modelos.
- 4. Elementos matemáticos en la modelación.** Representación matemática para agregaciones, tasas de flujo, tasas de cambio, flujo de energía y materia. Algunas

ecuaciones predictivas de tasas de flujo en el tiempo. Sistema de ecuaciones Lotka-Volterra. Técnicas de solución y soluciones cerradas más comunes. Ejemplo con un modelo de ecosistema acuático.

- 5. Stella. Aspectos generales.** El entorno de trabajo en Stella. Uso de los principales iconos. Introducción de ecuaciones y relaciones algebraicas. Realización de gráficas y tablas.
- 6. Modelos más comunes con Stella.** Ejemplos de modelos exponencial, logístico, estímulo-respuesta, auto-referencia, buscando objetivo y *goal-setting*. Algunas funciones avanzadas de Stella.
- 7. Más modelos y aspectos generales de la modelación dinámica.** Conjunto dirección. Puntos fijos y sus tipos. Sistemas de dos dimensiones. Aprovechamiento de Stella.

Cada capítulo contiene un foro de discusión sobre un tema en particular. Se organizaron cuatro chats, dos cada semana. También se incluyeron pequeñas evaluaciones semanales.

El CeL se encuentra en la dirección

<http://132.248.60.231/moodle18/course/category.php?id=4> con el título "Modelación Matemática de Procesos Biológicos". Dar clic en el enlace para acceder a él.

Pantallas del sitio de Biomatemáticas.





**Modelación Matemática de Problemas Biológicos**

### Capítulo 1. Aspectos básicos. Términos y conceptos.

#### 1.1. Una aproximación de modelación.

Las dos grandes fases de estudio y modelación son: análisis y de simulación. Aunque ambas aproximaciones aportan al conocimiento y precisión de sistemas ecológicos y sus componentes, en la práctica los dos enfoques se utilizan para cuestiones completamente diferentes y realizar aproximaciones matemáticas diferentes.

Los modelos analíticos se caracterizan por el uso de papel, lápiz y computadora matemáticamente complejos. La modelación por simulación se caracteriza por el uso de computadora más simple, un computador con sus computadoras.

#### 1.1.1. Modelos analíticos.

El estudio analítico se refiere a un conjunto de procedimientos para encontrar soluciones exactas a ecuaciones algebraicas o otro tipo de ecuaciones. Esta técnica se ha utilizado con éxito en sistemas relacionados a la física. El modelo se ha aplicado considerablemente en algunos aspectos de ecología, especialmente en tiempo y espacio de población.

Como estamos viendo en esta parte del estudio de modelos biológicos que involucran la vida para muchos aspectos en todo el mundo. En algunos casos se han utilizado en el desarrollo de programas de simulación de poblaciones. Los procedimientos son para estudiar en el estudio de ecuaciones diferenciales. El primer paso es dar un paso por cada ecuación o condición a través de hacer pocas ecuaciones.

El enfoque analítico no es muy útil cuando se estudia de ecuaciones complejas, ya que requieren la solución exacta de derivadas a través de ecuaciones, muchas de las cuales pueden ser muy difíciles. Por lo que se debe recurrir a procedimientos computacionales tipo el estudio de **modelos de simulación**. Esto ofrece una referencia al proceso de cómo calcular longitudes de simulaciones en una computadora y aplicar procedimientos. También, el tiempo necesario en acciones de análisis.

**Modelación Matemática de Problemas Biológicos**

### Capítulo 1. Aspectos básicos. Términos y conceptos.

En el pasado, varios enfoques generaron las gráficas de trabajo que obtenemos en computadoras, aunque esto ha cambiado.

1. Modeladores analíticos, generalmente físicos o matemáticos, interesados en la estética y precisión de los matemáticos para
2. Modeladores de simulación, gente con formación más práctica (biología o ingeniería). En su interés no son tanto la precisión de los matemáticos, sino la inclusión en el modelo de todos los parámetros que al considerar importantes. Así aquellos tipos de mecanismos de acción en contextos de manera parcial o superficial.

Actualmente se muestra un futuro donde ambos enfoques sean iguales, para lograr mejores resultados. Aunque, desafortunadamente no hay fórmulas mágicas que permitan, al modelador recurrir a él experimentalmente, decir de antemano el enfoque más adecuado a experimentar en vivo. Por lo que en cada caso es necesario utilizar el mejor juicio, de acuerdo a las condiciones del problema a estudiar.

**Modelación Matemática de Problemas Biológicos**

### Capítulo 1. Aspectos básicos. Términos y conceptos.

#### 1.1.2. Modelos de simulación.

El enfoque de simulación o modelado es de solución exacta a una ecuación en el tiempo, como lo hace un modelo analítico, entonces puede haber una serie de aproximaciones, por la naturaleza finita de los recursos de simulación.

Con los límites de simulación se debe considerar con los componentes de un modelo para aproximarse a la actividad biológica con una gran exactitud (para implementar algoritmos) función matemática. Aunque el hardware real de la computadora o técnicas modernas es que están libremente vinculadas a las computadoras.

Los estudios descriptivos de campo pueden desarrollar buenos modelos de simulación, así cuando los recursos no se consiguen a detalle, o aunque se pueden plantear ecuaciones que describan la relación de los variables, por ejemplo, indicación de variables, es preferible evitar matemáticas que relacionen una variable a otra.

Las simulaciones por computadora, que no se basan en algún conocimiento de mecanismo de causalidad, pueden ser herramientas importantes para lograr procedimientos de investigación sobre los mecanismos que de hecho son importantes.

**Modelación Matemática de Problemas Biológicos**

### Capítulo 1. Aspectos básicos. Términos y conceptos.

#### 1.1.3. ¿Qué se puede hacer con los modelos?

Los modelos son útiles a la medida en una variedad de formas. Uno de los más importantes es que pueden ser computados, organizados y comunicados fácilmente a otros científicos.

Los modelos pueden hacer considerablemente más, como: analizar, explicar y predecir. Si se entiende bien el comportamiento de ciertos partes de un sistema, así como la relación entre ellos, estas se pueden comunicar en un modo más completo. La gran ventaja principal es que, estos es información del comportamiento del sistema que no se veían a partir de procedimientos de los datos, lo que ayuda a prever nuevas hipótesis (explicar los datos nuevos y futuros).

Uno de los principales usos de los modelos es generar hipótesis. Ya que cuando se plantea un modelo, matemáticamente abstracto, es posible pensar y comunicar los datos a través de los algoritmos que describen el comportamiento del modelo como a fuera de la realidad real.

Uno de los usos de los modelos es probar la validez de las conclusiones de campo y los experimentos realizados de los datos.

Los modelos no son la prueba, pero sí son una herramienta disponible al científico. Tanto el objetivo principal no es necesariamente la construcción del modelo a los resultados de los datos, sino analizar y formular el comportamiento de sistemas complejos y hacer el modelo o establecer un sistema de nueva especie. Si lo que se desea es conocer más en la estructura y comportamiento de los sistemas, como ahora como en el futuro. Los modelos son una herramienta que pueden ayudar en estos procesos.

**Modelación Matemática de Problemas Biológicos**

**Capítulo 1. Aspectos básicos. Ejercicios y ejemplos.**

**1.1. Construyendo un modelo.**

Modelar generalmente empieza con una descripción de cuáles son los datos importantes del sistema y de cómo están interrelacionados. En esta etapa el autor del modelo describe fuertemente la experiencia e intuición del sistema, pero significa que el autor que se enfrenta en su sistema y que quiere asegurar el éxito de la modelación. Un conocimiento de cuáles son los componentes esenciales y sus relaciones, así como de la importancia, se puede obtener directamente de experimentos de campo o, con menos precisión, de estudios anteriores realizados en otros sistemas. Normalmente, un modelo se construye, se prueba y se compara las predicciones, de preferencia por más de un modo. Si las predicciones de los modelos, entonces se aceptan más información y el proceso se repite.

La definición de cuáles son las preguntas más importantes, los componentes y sus relaciones, son sólo los aspectos de preparación e inicio entre modeladores analíticos y matemáticos. Normalmente, los modelos biológicos se pueden construir por biólogos de campo trabajando en equipo con matemáticos computacionales. Asimismo, se ha incrementado el número de modeladores con sus propios biólogos de campo y físicos matemáticos.

La construcción de un modelo requiere de una serie de pasos, que consisten de un saber a otro aunque un enfoque general se describe en forma figurada, asignándose a los pasos:

**CONCEPTUAL → DIAGRAMÁTICO → MATEMÁTICO → COMPUTARIZADO**

**Modelación Matemática de Problemas Biológicos**

**Capítulo 1. Aspectos básicos. Ejercicios y ejemplos.**

**1.1.2. Modelo Biopopulacional**

Una característica de muchos modelos biológicos que se trata en papel o elaborados con alguna herramienta software específica para este propósito. Los modelos biológicos también representan estructuras de la naturaleza y por tanto para entender y explicar la naturaleza de un fenómeno, de la misma forma que los modelos matemáticos.

Un tipo de diagrama simple y de gran utilidad en el desarrollo de un modelo biológico.

En cuanto con un problema complejo se enfrenta por investigadores, considerando información, se establece un modelo conceptual. En este momento, se busca representar el fenómeno a través de un modelo matemático, lo que implica un paso más allá de la intuición. Este paso implica un compromiso de tiempo y recursos del autor del modelo con un sistema como biológico. Normalmente, los modelos biológicos se construyen en equipo con biólogos de campo y físicos matemáticos.

La construcción de los modelos matemáticos se complica por la necesidad de comprender y representar, en forma de ecuaciones, todo lo que sucede en la naturaleza (de abstracción, desde lo particular, desde lo concreto, etc.).

En primer lugar, los modelos matemáticos se refieren a la estructura y contenido, cuando se elaboran los modelos matemáticos, se debe tener en cuenta la naturaleza de los datos que se van a utilizar y la forma en que se van a utilizar.

En la construcción de un modelo matemático se debe tener en cuenta el tipo de datos que se van a utilizar y la forma en que se van a utilizar. Esto implica un compromiso de tiempo y recursos del autor del modelo con un sistema como biológico. Normalmente, los modelos biológicos se construyen en equipo con biólogos de campo y físicos matemáticos.

**Modelación Matemática de Problemas Biológicos**

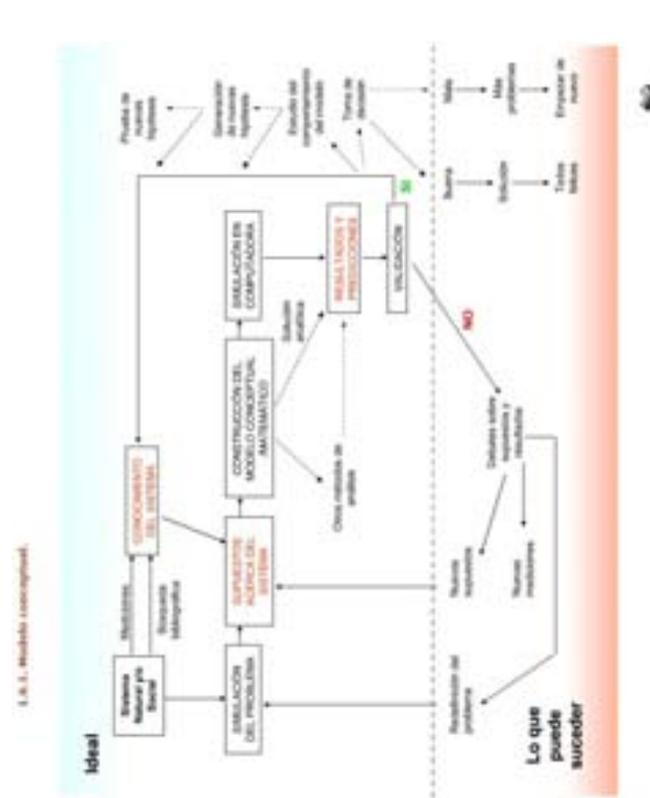
**Capítulo 1. Aspectos básicos. Ejercicios y ejemplos.**

**1.1.1. Modelo conceptual.**

Un modelo conceptual es simplemente una extensión del proceso científico. Ya que se tienen los componentes, interacciones y relaciones que se desea explicar en el sistema y se consideran dentro de un cierto marco o del sistema completo, así como los interrelacionados de interés.

Para ver el diagrama del proceso de un modelo conceptual, ver [Fig. 1.1.1](#)

Para construir un modelo conceptual se realizan planteamientos como: ¿qué es lo que pienso que es el sistema? ¿qué puede suceder a priori? (con base en la lógica pura) e implícitamente (con base en la experiencia de datos colectados para algún otro propósito o sobre un modelo previo construido para algún otro sistema).







Pantallas del Capítulo 2. Representación de energía y materia.

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

**3.1. Pasa de calor.**

El estado para el calor representa la energía que debe ser registrada en cada  $\Delta Q$  en cualquier proceso más, de acuerdo a la segunda ley de la termodinámica.

Para construir un modelo de cualquier proceso que use energía, se requiere el estado de cada  $\Delta Q$  en un momento para representar el almacenamiento de energía y el consumo de energía  $\Delta Q$ . Uno de los otros más comunes, de este modelo, es la modelación energética en representación de almacenamiento, es decir la energía utilizada para mantener un sistema, como la regulación energética y la apoptosis.

**Módulo para el calor**

**3.1.1. Almacenamiento (estados de energía).**

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

**3.1. Almacenamiento (estados de energía).**

En el estado de cualquier sistema cerrado se requiere crear diagramas que representen y expliquen los procesos que se están considerando. Y a que muestra de los procesos naturales con muy complicada para representarlos solamente con palabras y la ayuda de los modelos de los computadores a partir de una zona de almacenamiento diferenciada.

Un tiempo de flujo se basa en una serie de estados que representan procesos del sistema y funciones matemáticas, como las que se usan para indicar los cambios de transferencia de energía, materia y información.

La energía en este tipo de modelos se genera en sus fundamentos se pueden transformar a un lenguaje de computadora o a la representación de algún software específico.

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

**3.1. Comparación de voltajes e interacciones.**

Representar puntos de comparación de energía y/o materia, está en los fundamentos desde el flujo interactivo con otros. Las interacciones representadas por una línea en procesos de trabajo termodinámica y otros tipos de flujo de energía a partir de cada.

Respecto de este modelo de energía interactivo por un dispositivo para capturar una parte, o la energía del sistema utilizado para crear un modelo que se utiliza a la aplicación. En este último ejemplo se puede ver el momento cuando las interacciones materia y energía requieren para hacer y utilizar el hardware.

**3.1. Almacenamiento (estados de energía).**

El estado de cualquier sistema cerrado se requiere crear diagramas que representen y expliquen los procesos que se están considerando. Y a que muestra de los procesos naturales con muy complicada para representarlos solamente con palabras y la ayuda de los modelos de los computadores a partir de una zona de almacenamiento diferenciada.

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

**3.1. Almacenamiento (estados de energía).**

El estado representa una fuente de energía o materiales desde el sistema del sistema que se está estudiando.

Por ejemplo, se presenta el sistema en sí mismo, considerando una fuente de energía.

En estos ejemplos, se usa para representar fuentes. P, para Agua y O<sub>2</sub> para partículas de oxígeno y energía.

La energía de los estados se usa para representar los estados de energía. En estos casos, se utilizan a partir de estados energéticos a un nivel, cuando para los flujos en el estado. (Nota: este estado de energía).

**Modelación Matemática de Procesos Biológicos**

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

3.6. Producción (variables de estado).

Este estado generalmente representa a los plantas y es una combinación de varios estados. Todas las plantas tienen funciones similares de almacenamiento, como lo hacen las poblaciones animales, pero además tienen mecanismos para capturar la luz del sol y utilizar la energía capturada para producir compuestos de carbono ricos en energía.

**Modelación Matemática de Procesos Biológicos**

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

3.6. Productor: Estado planta verde.

**Modelación Matemática de Procesos Biológicos**

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

En estos diagramas se reconocen agregó la naturaleza de la interacción, lo cual puede ser de diferentes tipos, como se muestra a continuación:

**Modelación Matemática de Procesos Biológicos**

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

3.5. Consumidores (variables de estado).

Para representar un componente de auto-mantenimiento se utiliza un triángulo, como para animales, microorganismos o células. Este estado es una combinación de los estados de energía y carbono, lo cual en la representación, almacenar energía dentro de plantas y animal esta energía almacenada para realizar trabajo de auto-mantenimiento, tal como utilizar su propia energía para crecer y evitar morir. (En el diagrama se ilustra para un auto-mantenimiento).

**Asociación Matemática de Procesos Biológicos**

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

**2.8. Integración (ejemplos)**

Estos ejemplos muestran su utilidad cuando se integran en circuitos simples y complejos, como el que se presenta a continuación.

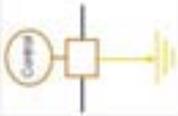
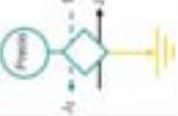
Después de construir el diagrama conceptual, se pueden mostrar más flujos y almacenamiento, hasta representar el proceso de manera más abundantemente perfilada. Entonces, se pueden agregar las ecuaciones diferenciales o en diferencias para representar cambios en las variables de estado como función de los flujos de entrada y salida. El paso final es desarrollar un modelo computacional, y partir de estas ecuaciones y como simulaciones.

Se debe aclarar que estos diagramas y símbolos, no son mejores que la conceptualización, supuestos y nombres que contienen. Pero sí sirven para describir sistemas muy complejos y dar representaciones subcuantitativas de los resultados.

Estos diagramas son una representación heredada de los primeros modeladores de sistemas ecológicos, que se común encuentran en la literatura. Aunque están siendo desplazados por la representación específica de software como *IsaSim*<sup>®</sup> o *Modelica*<sup>®</sup>.

**2.7. Modulos de flujo - control.**

**Capítulo 2. Representación de energía y materia.**

	Caída o trayectoria donde no hay fuerzas contrarias. (Ejemplo: la descarga de un trazo de agua.
	Trayectoria con una fuerza contraria. (Ejemplo: un trazo tirando una línea.
	Switch de control cuando dos flujos se agregan a uno solo.
	Flujo de una vía, indica que el flujo se da en una sola dirección. (Ejemplo: descarga de una pipa de agua en una pendiente, un bombón.
	Switch de control que se utiliza cuando los flujos tienen una sola condición de encendido o apagado. (Ejemplo: engranaje, reproducción estacional).
	Módulo de transición momentánea, se utiliza cuando el tiempo, así como la energía, está limitado. Se debe indicar que el flujo de abajo es inverso al flujo de arriba o separados, como cuando se compra cualquier producto.

Pantallas del Capítulo 3. Pasos prácticos para construir un modelo.

**Capítulo 3. Pasos prácticos para construir un modelo.**

La tarea más esencial al construir un modelo específico, es plantear el conocimiento abstracto del problema a ser resuelto y aplicarlo a los requisitos del modelo, el grado de los datos disponibles y el conocimiento de los modelos, y tener presente estructurar los datos de acuerdo a la estructura del modelo. El grado de los datos disponibles y el grado de los datos disponibles.

El primer de los conocimientos que se debe tener es el conocimiento de los datos de los modelos, desde la estructura que se debe tener, la estructura de los datos que se debe tener y la estructura de los datos que se debe tener.

La estructura de los datos que se debe tener, la estructura de los datos que se debe tener y la estructura de los datos que se debe tener.

Una estrategia viable puede ser utilizar un lenguaje de programación que permita la construcción de los modelos, como por ejemplo, el lenguaje de programación de alto nivel, como por ejemplo, el lenguaje de programación de alto nivel, como por ejemplo, el lenguaje de programación de alto nivel.

El primer de los conocimientos que se debe tener es el conocimiento de los datos de los modelos, desde la estructura que se debe tener, la estructura de los datos que se debe tener y la estructura de los datos que se debe tener.

**Capítulo 3. Pasos prácticos para construir un modelo.**

**3.1. Pasos a seguir**

La estrategia general se puede considerar, como:

1. Definir los objetivos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
2. Definir los datos que se deben tener, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
3. Definir la estructura del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
4. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
5. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
6. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
7. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
8. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.

```

    graph TD
      A[Objetivos del modelo] --> B[Especificaciones]
      B --> C[Requisitos]
      C --> A
  
```

**Capítulo 3. Pasos prácticos para construir un modelo.**

**3.1.1. Requisitos**

El primer de los conocimientos que se debe tener es el conocimiento de los datos de los modelos, desde la estructura que se debe tener, la estructura de los datos que se debe tener y la estructura de los datos que se debe tener.

El primer de los conocimientos que se debe tener es el conocimiento de los datos de los modelos, desde la estructura que se debe tener, la estructura de los datos que se debe tener y la estructura de los datos que se debe tener.

El primer de los conocimientos que se debe tener es el conocimiento de los datos de los modelos, desde la estructura que se debe tener, la estructura de los datos que se debe tener y la estructura de los datos que se debe tener.

**Capítulo 3. Pasos prácticos para construir un modelo.**

**3.1.2. Objetivos**

Dependiendo de la naturaleza del problema, puede ser necesario incorporar mecanismos de control de los datos que se deben tener, como por ejemplo, los requisitos del modelo.

```

    graph TD
      A[Objetivos del modelo] --> B[Especificaciones]
      B --> C[Requisitos]
      C --> A
  
```

Los requisitos de los modelos se pueden considerar, como:

1. Definir los objetivos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
2. Definir los datos que se deben tener, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
3. Definir la estructura del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
4. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
5. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
6. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
7. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.
8. Definir los requisitos del modelo, como por ejemplo, los requisitos del modelo.

El primer de los conocimientos que se debe tener es el conocimiento de los datos de los modelos, desde la estructura que se debe tener, la estructura de los datos que se debe tener y la estructura de los datos que se debe tener.



Pantallas del Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.

**Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.**

Hay muchos países a seguir en el desarrollo de un modelo, por lo que es necesario tener un vector riguroso donde se describan las relaciones entre los componentes de un sistema. Después de esto, se comienza a usar a utilizar para construir ecuaciones y derivadas que permitan calcular por el sistema a través del tiempo.

Una de las primeras partes en la modelación es definir las variables que describen el estado o condición de un sistema biológico (condición de estado). Un estado que tiene una de sus variables de estado en un momento determinado, un estado matemáticamente es un instante preciso cuando se define que existen tanto componentes biológicos como abióticos del sistema. Así el modelo biológico más completo puede tener variables de estado representando biomasa de plantas, biomasa animal y la cantidad de nutrientes en el ambiente.

**Problema:**

- $P$  = Frecuencia absoluta de presas por una comunidad
- $N_p$  = tasa de biomasa del depredador
- $Q_1$  y  $Q_2$  = densidades de presas y depredadores
- $d = r_1 r_2$

$$R(1,2) = N_p Q_1 Q_2 P \dots \dots \dots (4)$$

$$R(2,2) = a Q_2 Q_1 \dots \dots \dots (5)$$

Si se considera que la capacidad de un depredador para consumir es finita, y la densidad de la población de presas es tan alta que  $a Q_2$  excede la capacidad de un depredador, entonces la ecuación (5) representa la tasa de depredación. En este caso se debe modificar la tasa de consumo,  $a$ , para disminuir la densidad de consumo conforme las presas se hacen más abundantes y las depredaciones ocurren más lentamente. En los casos de una alta densidad de presas, la función de consumo,  $a'$ , se puede aproximar por:

$$a' = a \left( 1 - \frac{K}{K + Q_1} \right) \dots \dots \dots (6)$$

De esta forma podemos obtener un valor apropiado de  $a'$ . De manera que si el valor de  $Q_1$  es pequeño en relación a  $K$ , los depredadores pueden ser más variables y  $a'$  es aproximadamente igual a  $a$ . La tasa máxima de consumo,  $a'$ , es igual para todos  $Q_1$  y  $a'$  se aproxima a los límites de la capacidad del depredador, la función de consumo  $a'$  es inversamente proporcional a la densidad de presas. En el caso de una alta densidad de presas, la función de consumo  $a'$  se puede aproximar por:

$$a'(1,2) = S_1 Q_1 Q_2 P + S_1 Q_1 Q_2 P \frac{K}{K + Q_1} = a' \frac{K Q_1}{K + Q_1} Q_2 \dots \dots \dots (7)$$

en consecuencia:

$$J(1,2) = \frac{a' K Q_1}{K + Q_1} Q_2 \dots \dots \dots (8)$$

Se debe notar que una gran diferencia de presas, el más reciente de la ecuación (8) es aproximadamente igual a  $a' K Q_1$  justo después de  $\frac{K}{K + Q_1} = 1$ . Entonces, el consumo total por depredador nunca excede  $a' K$  independientemente del tiempo de la población de presas.

Esta última ecuación se ha utilizado para estudiar la dinámica y aproximación de equilibrio por el funcionamiento del ecosistema  $Q_1$  y  $Q_2$  en relación a la conservación de biomasa y la regulación, respectivamente.

**Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.**

4.1. Tasa de Naja (como 2):

En sistemas, la tasa más de crecimiento por individuo depende de la capacidad de soporte de la población  $Q_1$ . La tasa por medio de la biomasa animal, animal se alimenta a través de la reproducción de muchos países los datos indican que el crecimiento en la tasa más de crecimiento se puede modelar multiplicando la tasa constante de crecimiento  $r$ , con el término:

$$r' = r \left( 1 - \frac{Q_1}{K} \right) = r \left( 1 - \frac{Q_1}{K} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Donde  $K$  es la capacidad de carga. La población máxima que puede soportar el ambiente. Se puede notar que la tasa de crecimiento,  $r'$ , es cero cuando la densidad poblacional es igual a la capacidad de carga máxima, cuando  $Q_1 = K$ , es muy pequeño, en relación a  $K$ ,  $r'$  es aproximadamente igual a  $r$  la máxima tasa de crecimiento  $r$ . Si se sustituye  $r'$  de la ecuación (1), en la ecuación (2) se tiene:

$$A(1) = r' Q_1 = r Q_1 \left( 1 - \frac{Q_1}{K} \right) \dots \dots \dots (2)$$

de la figura 2.1.2, de la tasa a la cual la biomasa de presas  $Q_1$  está siendo consumida por los depredadores  $Q_2$ .  $R(1,2)$  es la tasa de consumo de la población de presas y  $R(2,2)$  es la tasa más de crecimiento de la población de depredadores en el consumo de presas. Esto es que esta última población puede disminuir un individuo,  $R(2,2)$  es negativo. La idea es que  $R(1,2)$  es cero, para un tipo  $r$  de crecimiento de la población de depredadores  $Q_2$  por el tipo  $r$ .

Esta ecuación se refiere de esta manera, se deben considerar matemáticas para cada uno de los tipos de Naja. E.G. Las tasas 2 (1.1) y 2.2.2 son funciones de crecimiento más que se pueden describir por ecuaciones como (1) y (2).

**Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.**

4.1. Aproximación:

El sistema se puede representar como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE) o como la capacidad de presas, animales, plantas y depredadores (tanto variables de estado). El comportamiento de los o más variables de estado en una sola de las mismas (como apropiado).

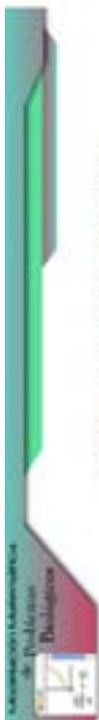
4.1. Tasa de Naja:

Las tasas de crecimiento de presas animales y plantas dependen de la capacidad de soporte de la población de presas  $Q_1$ . La tasa por medio de la biomasa animal, animal se alimenta a través de la reproducción de muchos países los datos indican que el crecimiento en la tasa más de crecimiento se puede modelar multiplicando la tasa constante de crecimiento  $r$ , con el término:

$$r' = r \left( 1 - \frac{Q_1}{K} \right) = r \left( 1 - \frac{Q_1}{K} \right) \dots \dots \dots (1)$$

En un sistema que tiene una sola variable  $Q_1$ , la única tasa de Naja es  $R(1,1)$ .

de la figura se presenta una población animal  $R(1,1)$  representa el crecimiento más que la biomasa de la población. El crecimiento más que la biomasa más de crecimiento, y la tasa de crecimiento más que la biomasa de la población, por el número de individuos,  $K$  es la capacidad de soporte.



Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.

4.1. Tipos de variables.

La cantidad más de las cosas de cambio de una variable de estado  $X_i$  es la suma de las flujos de entrada a  $X_i$  desde otras variables, menos las flujos de salida de  $X_i$ . De manera que:

$$F_i = \sum_{j=1}^n P_{ji} X_j - \sum_{k=1}^n P_{ik} X_i \quad (14)$$

si que entre  $X_i$  y  $F_i$ , entonces se que sabe en  $X_i$ .

donde:

$F_i$  = tasa total de cambio de  $X_i$

$P_{ji}$  = razón de conversión del material  $X_j$  al material  $X_i$

$$\sum_{j=1}^n P_{ji} X_j = \text{suma para } j = 1, 2, \dots, j-1, j+1, \dots, n$$

$\sum_{k=1}^n P_{ik} X_i = \text{suma de flujos de } X_i$

La representación de las tasas de cambio  $F_i$ , obtenida al sumarle con base de los mecanismos de formación e de eliminación que necesariamente produce el comportamiento de un sistema biológico.

Es necesario saber las conversiones  $P_{ji}$  en las líneas de cambio de la ecuación (14), así que el principio (MUI) establece de la variable  $X_i$  en un determinado estado es el sumo de los flujos de entrada  $P_{ji} X_j$  por ejemplo, a la cantidad  $X_i$  a cualquier otro estado en el sistema de formación de  $X_i$ , menos los flujos (producto del MUI) está representado en cambio de la forma  $X_i$ , así que la expresión resulta en la forma:

El flujos de entrada de un sistema biológico que aparece, cuando se forma, entonces  $P_{ji}$  es independiente de  $X_i$  en otros estados con otros estados,  $P_{ji}$  varía con el cambio de estado. Cuando  $X_i$  es la concentración de un compuesto orgánico por  $X_i$  y  $X_j$  es la forma de un compuesto orgánico por  $X_j$ , entonces  $P_{ji}$  es la función de la forma de un compuesto que se integra, y está en unidades de gramos de compuesto por gramo de cambio.



Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.

4.1. Tipos de variables.

Para el caso unidimensional (una sola variable) de la figura 5, la tasa de cambio  $F_1$  a partir de la ecuación (14) es simplemente:

$$F_1 = K_1 X_1 \quad (15)$$

El término  $K_1 X_1$  puede tener uno de los formas (veremos en las ecuaciones (15) y (25)) de decir que para el crecimiento independiente de la biomasa:

$$F_1 = \alpha X_1 \quad (16)$$

Y para el crecimiento que es más complejo lo denotado se representa a la capacidad de carga  $K$ , se tiene:

$$F_1 = \alpha X_1 \left( \frac{K - X_1}{K} \right) \quad (17)$$

Los flujos de flujos también pueden ser influenciados por factores fuera del sistema que afectan al comportamiento del sistema, pero que no son afectadas por el sistema y por tanto se consideran a las variables que describen tales factores en las flujos variables: temperatura, concentración y radiación solar por ejemplo. De esta lista de variables y flujos una influencia muy importante sobre flujos de flujos, incluyendo productividad neta y absorción de nutrientes.

Resumiendo, las tasas que dependen de otras flujos se representan matemáticamente por la multiplicación conjunta del efecto de todos los factores que afectan independientemente entre sí, como: por ejemplo, la tasa de absorción de nutrientes,  $G_j$ , por el momento se puede representar como:

$$G_j(X_1, X_2, \dots, X_n) = M G_{j0} (1 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_n X_n) \quad (18)$$

donde  $M$ ,  $G_{j0}$  y  $\alpha_j$  describen las acciones de la concentración de las sustancias,  $X_j$ , y las variables independientemente,  $M$ ,  $G_{j0}$  y  $\alpha_j$  describen la acción de absorción de nutrientes por la población de Microorganismos. El efecto de la concentración de sustancias independientemente sobre la forma,  $G_j(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , donde  $\alpha_j$  está dado en la ecuación (18).

Una forma más general de la ecuación multiplicativa es:

$$G_j(X_1, X_2, \dots, X_n) = M \prod_{i=1}^n G_{ji}(X_i) \quad (19)$$

donde  $G_{ji}$  representa el producto  $G_{ji}$  en valores a todas las variables del modelo (estado, desarrollo y tiempo) que afectan a  $G_{ji}$ . Cada uno de los términos  $G_{ji}(X_i)$  es más simplemente los otros variables representadas y calculadas al cambio. En general se MUI establece  $G_{ji}$  cambia  $G_{ji} = G_{j0} P_{ji} \dots P_{ji}$  es el conjunto de los valores en el cual las otras variables se encuentran constantes, entonces  $M$  es el valor de la tasa de flujos cuando todas las variables  $X_j$  son iguales a sus valores base  $P_{ji}$  considerando los valores base de absorción de nutrientes que son  $G_{j0}$ .

De manera más precisa:

$$M = M(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (20)$$

$$G_{ji}(X_i) = \frac{G_{j0} P_{ji} X_i^{\alpha_j}}{1 + G_{j0} P_{ji} X_i^{\alpha_j}} \quad (21)$$

donde:

$M = X_1 P_{1j} \dots X_n P_{nj}$  = conjunto de valores base de las variables del sistema afectadas para composición.

$MUI P_{1j} P_{2j} \dots P_{nj}$  = el valor de la tasa de flujos,  $G_{ji}$ , está que las variables del sistema tienen los valores  $P_{1j}, P_{2j}, \dots, P_{nj}$ .

La cantidad de otros respuestas se puede valorar significativamente si se expresa que los efectos de los diferentes cambios sobre la tasa de flujos,  $G_{ji}$ , se pueden representar por una ecuación multiplicativa:



Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.

4.2. Tipos de flujos (sum 3).

En este punto se introduce las siguientes para que sea posible la ecuación (21) al desarrollo una lista de flujos. La selección multiplicativa es adecuada solamente si los efectos de cambio en algunos variables en el producto de los efectos individuales a cambio en los valores uno a la vez. Por ejemplo, para construcción del sistema de  $X_j$  y  $X_k$ :

$$G_j(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = \frac{G_{j0} P_{1j} P_{2j} \dots P_{nj} X_1^{\alpha_1} X_2^{\alpha_2} \dots X_n^{\alpha_n}}{1 + G_{j0} P_{1j} X_1^{\alpha_1} + G_{j0} P_{2j} X_2^{\alpha_2} + \dots + G_{j0} P_{nj} X_n^{\alpha_n}} \quad (22)$$

Se puede notar que en general los valores de  $G_{j0}$  no varían con las mismas, si así como se muestran valores base  $P_{1j}, P_{2j}, \dots, P_{nj}$ . Por tanto cuando las ecuaciones construyeron en base en los valores de  $X_j$  que representan el valor de  $G_{ji}$ , por ejemplo,  $G_{ji}$  en una lista de conversiones, los valores base de los  $P_{ji}$  pueden representar los valores de absorción de nutrientes entre temperatura, concentración de nutrientes y así por el resto.

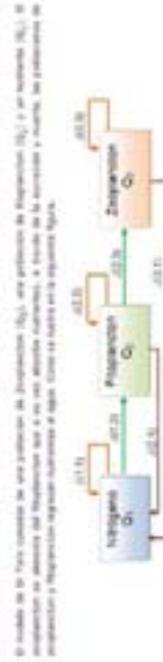
En la práctica, los valores independientemente dependientes de independencia que afectan los flujos de flujos. Esto significa que la ecuación (22) es un efecto a través los valores de  $X_j$ . Aunque la aproximación multiplicativa es adecuada para muchos propósitos, una estimación de error inherente de las aproximaciones se puede obtener evaluando la tasa  $G_{j0}$  para diferentes conjuntos de valores base  $X_j$ . El momento de error inherente al valor de error de la  $X_j$  de manera que  $X_j = X_{j0} + \Delta X_j$  sea suficientemente pequeño (donde  $X_j$  debe ser el conjunto de absorbencia proporcional).





4.3. Modelos de crecimiento poblacional

A continuación se presenta el modelo de crecimiento poblacional por el tipo y subtipos de agua, para poder la cantidad de la población en los subtipos de agua en el tiempo para hacer simulaciones y experimentos, los cuales se basan en la ecuación de crecimiento de Malthus y se experimenta por el tipo y subtipos de agua para poder simular la cantidad de población.



El primer paso para construir un modelo de crecimiento poblacional es la elección de las variables de estado. En este caso, las variables de estado son la cantidad de agua, la cantidad de fragancia y la cantidad de zetaplano. La ecuación de crecimiento poblacional para el tipo y subtipos de agua en el tiempo  $t$  se puede representar por la ecuación (141).

La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ .

La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ .

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (141)$$

$$\frac{dY(t)}{dt} = r_4 Y(t) + r_5 Y(t) + r_6 Y(t) + \dots \quad (142)$$

$$\frac{dZ(t)}{dt} = r_7 Z(t) + r_8 Z(t) + r_9 Z(t) + \dots \quad (143)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ .

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (144)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ .

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (145)$$

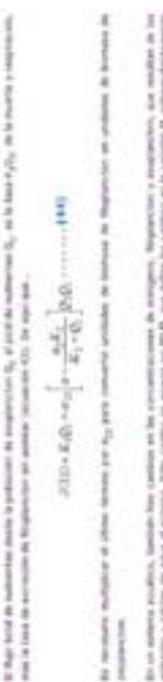
donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (146)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

4.3. Modelos de crecimiento poblacional

A continuación se presenta el modelo de crecimiento poblacional por el tipo y subtipos de agua, para poder la cantidad de la población en los subtipos de agua en el tiempo para hacer simulaciones y experimentos, los cuales se basan en la ecuación de crecimiento de Malthus y se experimenta por el tipo y subtipos de agua para poder simular la cantidad de población.



El primer paso para construir un modelo de crecimiento poblacional es la elección de las variables de estado. En este caso, las variables de estado son la cantidad de agua, la cantidad de fragancia y la cantidad de zetaplano. La ecuación de crecimiento poblacional para el tipo y subtipos de agua en el tiempo  $t$  se puede representar por la ecuación (141).

La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ . La ecuación (141) se puede escribir como un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) en el tiempo  $t$ .

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (147)$$

$$\frac{dY(t)}{dt} = r_4 Y(t) + r_5 Y(t) + r_6 Y(t) + \dots \quad (148)$$

$$\frac{dZ(t)}{dt} = r_7 Z(t) + r_8 Z(t) + r_9 Z(t) + \dots \quad (149)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (150)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (151)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (152)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (153)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

$$\frac{dX(t)}{dt} = r_1 X(t) + r_2 X(t) + r_3 X(t) + \dots \quad (154)$$

donde  $r_1, r_2, r_3, r_4, r_5, r_6, r_7, r_8, r_9$  son los coeficientes de crecimiento poblacional de los subtipos de agua, fragancia y zetaplano.

Asociación Matemática de Profesores Biólogos

Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.

Tabla 2. Tareas de flujo en el modelo.

$J(1,1) = q(2,1) - q \frac{Q_1}{V}$
$J(1,2) = \frac{a_1 K_1 Q_1 Q_2}{K_1 + Q_1} - Q_1 r_1 X_1 + Q_2 r_2 (X_1)$
$J(2,2) = Q_2 r_2 (X_1)$
$J(2,3) = q_2 - q \frac{Q_2}{V}$
$J(2,4) = a(2,3) Q_3$
$J(3,1) = K_1 Q_1 - a(2,1) \left[ a - \frac{a_1 K_1}{K_1 + Q_1} \right] Q_2 Q_3$
$J(3,3) = q(1) - q \frac{Q_1}{V}$

Cerrar

Asociación Matemática de Profesores Biólogos

Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.

4.4. Variables de estado.

El propósito de las ecuaciones diferenciales es encontrar el valor de  $X_i$  en cada punto de tiempo  $t$ , una expresión que da los valores de  $X_i(t)$  se le conoce como la solución de las ecuaciones diferenciales.

Si una solución se puede escribir explícitamente por una expresión matemática, esta es llamada solución de forma cerrada o solución analítica. Por ejemplo, la ecuación diferencial:

$$\frac{dX}{dt} = rX - qX = k$$

tiene solución cerrada:

$$X(t) = e^{kt} + \dots \dots \dots (54)$$

Una lista de las soluciones cerradas más comunes se presenta en la **Tabla 3**. Aunque se debe advertir que las soluciones cerradas o analíticas están asociadas a modelos más simples y que tienen una forma específica. Por lo consiguiente, la mayoría de los modelos que buscan ser resueltos no tienen soluciones de forma cerrada y se deben resolver numéricamente.

Para resolver numéricamente las ecuaciones diferenciales, los valores de las variables de estado  $X_i(t)$  se calculan iterativamente, es decir, los valores de las variables al tiempo  $t$  se usan para calcular los valores al tiempo  $t + \Delta t$ . Por ejemplo, si se quiere calcular los valores de  $X$  y  $Y$  al momento  $t$ , los primeros datos con  $t = 0$ , para  $t$  se usa la respuesta al valor inicial  $X(0)$  por ejemplo, si se construyeron un modelo de población en el momento de la población de personas y dependientes (ver como se cambian en el momento 200 y 210). Entonces, de la ecuación (55):

$$Q_1(t+1) = Q_1(t) + \Delta t Q_1(t) - \Delta t Q_1(t) R(t) \dots \dots \dots (55)$$

$$Q_2(t+1) = Q_2(t) + \Delta t Q_2(t) - \Delta t Q_2(t) R(t) \dots \dots \dots (56)$$

Cerrar

Asociación Matemática de Profesores Biólogos

Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.

Tabla 1. Valores de parámetros utilizados en el modelo.

Descripción del parámetro	Símbolo	Valor
<b>Factores de conversión</b>		
Nitrógeno a Fitoplancton	$a_{1,2}$	5.80 g C/g N
Fitoplancton a Zooplancton	$a_{2,3}$	0.5 g C/g C
Zooplancton a Nitrógeno	$a_{3,1}$	0.20 g N/g C
Fitoplancton a Nitrógeno	$a_{2,1}$	0.17 g N/g C
<b>Coefficientes de saturación</b>		
Asimilación de Nitrógeno por el Fitoplancton	$K_1$	0.025 mg N/l-día
Asimilación de Fitoplancton por el Zooplancton	$K_2$	3 mg C/l-día
Decremento de Zooplancton (muerte y excreción)	$K_3$	0.075/día
Tasa de pastores del Zooplancton/volumen	$\rho$	0.013 (volumen)/day-g C
Tasa de crecimiento máximo saturada	$M$	3 día <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Intensidad de saturación de luz	$I_0$	300 h/día

Cerrar

Asociación Matemática de Profesores Biólogos

Capítulo 4. Elementos matemáticos en la modelación.

Tabla 1. Relaciones funcionales en el modelo.

Efectos de variables exógenas	Relación funcional
TVC XT sobre la respiración del fitoplancton	$R_{1,2}$
TVC XT sobre el crecimiento de fitoplancton	$R_{2,3}$
Intensidad de luz $I(X_2)$ sobre el crecimiento de fitoplancton	$R_{3,1}$
Radiación solar $X_3$ y profundidad $z$ sobre la intensidad de luz	$R_{2,1}$

Cerrar

Capítulo 4. Ejercicios matemáticos en la modelación.

Tabla 1. Soluciones matemáticas más comunes.

Nombre	Tipo de ecuación	Gráfica de f.	Función de probabilidad	Solución exacta	Soluciones de ecuaciones	Gráfica de Q(t)
Crecimiento exponencial	$F_1 = aQ_1$		$\frac{dQ}{dt} = aQ$	$Q(t) = Q_0 e^{at}$	$Q' = a$ (no variables)	
Crecimiento exponencial decreciente	$F_1 = -aQ_1$		$\frac{dQ}{dt} = -aQ$	$Q(t) = Q_0 e^{-at}$	$Q' = -a$ (no variables)	
Crecimiento logístico	$F_1 = aQ_1 \left( \frac{K-Q_1}{K} \right)$		$\frac{dQ}{dt} = aQ \left( \frac{K-Q}{K} \right)$	$Q(t) = \frac{KQ_0 e^{at}}{K - Q_0(e^{at} - 1)}$	$Q' = a$ (no variables)	
Curva logística	$F_1 = aQ_1 + bQ_1^2$		$\frac{dQ}{dt} = aQ - bQ^2$	No hay forma exacta	$Q' = a - 2bQ$ (no variables)	
	$F_1 = aQ_1 + bQ_1^2 + cQ_1^3$		$\frac{dQ}{dt} = aQ + bQ^2 + cQ^3$	No hay forma exacta	$Q' = a + 2bQ + 3cQ^2$ (no variables)	
Múltiples factores	$F_1 = a \frac{Q_1^2}{K_1 - Q_1} + bQ_1$		$\frac{dQ}{dt} = a \frac{Q^2}{K - Q} + bQ$	No hay forma exacta	$Q' = \frac{2aQ}{K - Q} + b$ (no variables)	

4.1. Resolución matemática de ecuaciones.

Para resolver estas ecuaciones, se especifican los valores de las parámetros y se difunden los valores exactos de los cambios de estado. De manera que:

$$N_1 = 8.1, N_2 = 0.015, r = 1, \tau = 1$$

$$\text{Con } Q_1(0) = 1000 \text{ y } Q_2(0) = 0$$

Se obtienen como valores en las ecuaciones (10) y (11) se tiene:

$$Q_1(t) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = 1000 + 1000(0.015) - 1000(0.015) = 1000$$

$$+ 1000 \cdot 0.015(1000) - 1000(1000)(1000) = 1000 + 1500 - 1000000 = -998500$$

$$+ 1000 \cdot 0.015 = 1000 + 1500 = 2500$$

Los resultados, desde el tiempo 0 se presentan en la siguiente tabla:

Tiempo	$N_1$	$N_2$
0	1000.00	402.00
1	1000.00	402.00
2	1000.00	402.00
3	1000.00	402.00
4	1000.00	402.00
5	1000.00	402.00
6	1000.00	402.00
7	1000.00	402.00
8	1000.00	402.00
9	1000.00	402.00
10	1000.00	402.00

El error de redondeo las decimales varían según, por lo que estos resultados se aproximan al número entero más cercano.

Capítulo 4. Ejercicios matemáticos en la modelación.

4.1. Resolución matemática de ecuaciones.

Se obtienen como valores en las ecuaciones (10) y (11) se tiene:

$$Q_1(t) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = 1000 + 1000(0.015) - 1000(0.015) = 1000$$

Los resultados, desde el tiempo 0 se presentan en la siguiente tabla:

$$Q_1(t) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = 1000 + 1000(0.015) - 1000(0.015) = 1000$$

El error de redondeo las decimales varían según, por lo que estos resultados se aproximan al número entero más cercano.

$$Q_2(t) = Q_2(0) + aQ_2(0) - bQ_2(0) = Q_2(0) + aQ_2(0) - bQ_2(0) = 0 + 0(0.015) - 0(0.015) = 0$$

$$Q_2(t) = Q_2(0) + aQ_2(0) - bQ_2(0) = Q_2(0) + aQ_2(0) - bQ_2(0) = 0 + 0(0.015) - 0(0.015) = 0$$

Se obtienen como valores en las ecuaciones (10) y (11) se tiene:

Los resultados, desde el tiempo 0 se presentan en la siguiente tabla:

$$Q_1(t) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = 1000 + 1000(0.015) - 1000(0.015) = 1000$$

4.2. Resolución matemática de ecuaciones.

Se obtienen como valores en las ecuaciones (10) y (11) se tiene:

$$Q_1(t) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = 1000 + 1000(0.015) - 1000(0.015) = 1000$$

Los resultados, desde el tiempo 0 se presentan en la siguiente tabla:

$$Q_1(t) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = Q_1(0) + aQ_1(0) - bQ_1(0) = 1000 + 1000(0.015) - 1000(0.015) = 1000$$

Se obtiene:

$$N_1 = 8.1(1000) = 8100$$

$$N_2 = 0.015(1000) = 15$$

$$N_3 = 0.015(1000) = 15$$

$$N_4 = 0.015(1000) = 15$$

El error de redondeo las decimales varían según, por lo que estos resultados se aproximan al número entero más cercano.







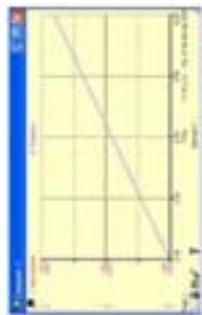
Capítulo 5. STELLA. Aspectos generales.

5.1. Mensaje de bienvenida (cont.)

5.1.1. Visualización del modelo.

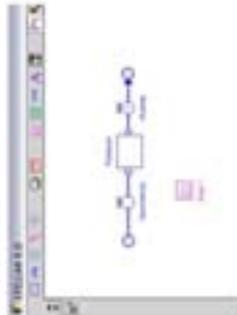
El modelo aparece estático para ser cargado. Para verlo, dar un clic sobre el "botón" de la izquierda debajo del mensaje de bienvenida y  la imagen seleccionada se muestra para que haga clic en el botón **Publicación**.

Como resultado aparece la siguiente gráfica:



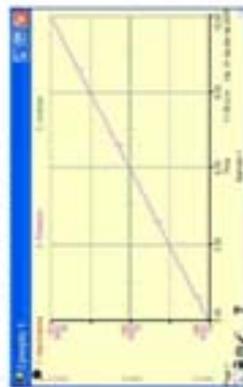
Se observa que **Reproducción**, **recruitment** (por el momento) y **consumo**, en el caso de **100**, muestran que la población crece de manera aritmética, incrementándose en **1000**. Sin embargo, **Age** y **consumo** de **carbón** por **cl** en la especie **Armadillo** por **cl** que sigue por **estilo Publicación**.

El evento que se muestra en la siguiente figura:



Se debe darle al botón **1** en el **Figura**. Como se puede observar el botón **100** (porcentaje) (porcentaje) muestra la **cl**. En las propiedades del **Fig** se debe hacer clic sobre el botón **1** en la parte superior izquierda del **Fig**, además de documentar la variable con la variable **Reproducción**.

El siguiente paso es dar un clic sobre el botón **Publicación** para agregar la variable **Reproducción**. Entonces se debe dar un clic sobre el botón **1** en la parte superior izquierda del **Fig**, además de documentar la variable con la variable **Reproducción**.



En este momento se debe dar un clic sobre el botón **1** en la parte superior izquierda del **Fig**, además de documentar la variable con la variable **Reproducción**.

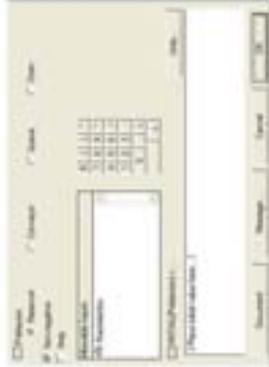


Capítulo 5. STELLA. Aspectos generales.

5.1. Mensaje de bienvenida (cont.)

5.1.2. Definición de las relaciones algebraicas del modelo (cont.).

Considerar ahora, la variable **Reproducción**, para esto dar un clic sobre ella, para que aparezca la siguiente pantalla:

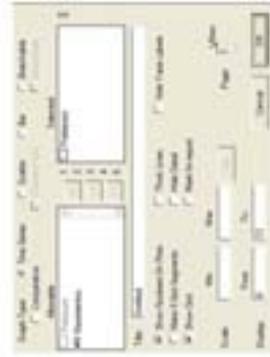


Es importante notar la diferencia con respecto al dibujo del **Fig**. En la parte superior hay una lista de las posibles figuras de **estilo**, las más comunes son **contorno** y **contorno**. La opción **contorno** obliga a que la variable tenga valores positivos o cero. Luego se debe hacer clic sobre el botón **1** en la parte superior izquierda del **Fig**, además de documentar la variable con la variable **Reproducción**.

Después de hacer una copia de dibujo que muestra el valor inicial del **estilo** (no se debe hacer una copia como en el **Fig**). Los valores de los **estilos** solo pueden cambiar mediante el uso de **Fig** de **estilo** o **estilo**. En este ejemplo se debe dar un clic sobre el botón **1** en la parte superior izquierda del **Fig**, además de documentar la variable con la variable **Reproducción**.

Entonces hay que dar un clic sobre el botón **1** en la parte superior izquierda del **Fig**, además de documentar la variable con la variable **Reproducción**.

Una vez que se tiene el **Fig** se debe dar un clic sobre el botón **1** en la parte superior izquierda del **Fig**, además de documentar la variable con la variable **Reproducción**.

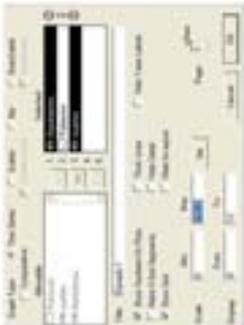


En la parte superior hay una lista de las posibles figuras de **estilo**, las más comunes son **contorno** y **contorno**. La opción **contorno** obliga a que la variable tenga valores positivos o cero. Luego se debe hacer clic sobre el botón **1** en la parte superior izquierda del **Fig**, además de documentar la variable con la variable **Reproducción**.

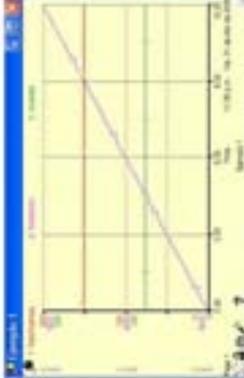

**Capítulo 5. STELLA. Aspectos generales.**

**5.1. Menú de Inicio (Inicio)**  
**5.1.1. Curvas al cambiar el estado.**

Para cambiar el estado dar un clic sobre la gráfica y después seleccionar las dos variables a estudiar (con ZDF + clic), en este caso **Nacimiento** y **Muerte**. Después dar un clic sobre la doble flecha vertical que se presenta a la derecha de alguna de las variables seleccionadas, con lo que se permite definir la escala de las variables, en este caso 100 y 0 y **Más** o **Menos**.



Al correr el modelo nuevamente se aprecia el cambio de estado.

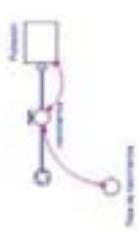


En esta última gráfica se puede apreciar que el valor de nacimiento es mayor que el de muerte, por qué la tendencia de la población a crecer.

**Pantallas del Capítulo 6. Modelos más comunes con STELLA.**


**Capítulo 6. Modelos más comunes con STELLA.**

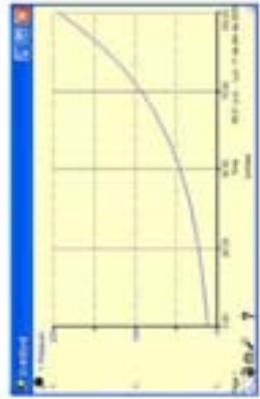
**6.1. Fertilización**  
 Modelo representado en STELLA.



**Código del modelo:**  

$$Fertilización(t) = Fertilización(t) \cdot dt + (nacimiento(t) - dt)$$
  

$$F(t) Fertilización = dt$$
  
 INITIALS  
 nacimiento = Fertilización \* tasa\_nacimiento  
 Nueva\_generación = 0.01



Este es un modelo que representa a un ser vivo que se reproduce con el producto de la población y de la tasa de nacimiento.

La modificación de este primer modelo consistió en una variable del modelo representada.

**Capítulo 6. Modelos más complejos con STELLA**

**6.6. Logística**

Modelo logístico de STELLA

**Logística del mundo:**

Administración de recursos:  $R = \text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$

Definición:

Recursos:  $R = \text{Inventarios} * R$   
 Población:  $P = \text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$

En este modelo, tras un lanzamiento de un cohete, por efecto del mismo fenómeno, la población crece exponencialmente en ausencia de límites. El tiempo necesario para el resto del tiempo de 10 a 100.

En los cuadros de 'Visualización' para visualizar el estado de los recursos y la población, después de un clic en el botón de 'Visualización'.

Como se puede observar en el gráfico, la población crece exponencialmente y se estabiliza en un valor de 100. La población llega al "estado" debido a la limitada capacidad de los recursos. La población crece exponencialmente en ausencia de límites de recursos.

**Logística del mundo:**

Administración de recursos:  $R = \text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$

Definición:

Recursos:  $R = \text{Inventarios} * R$   
 Población:  $P = \text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$

**Logística del mundo:**

Administración de recursos:  $R = \text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$

Definición:

Recursos:  $R = \text{Inventarios} * R$   
 Población:  $P = \text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$   
 MDT:  $\text{Inventarios} * R$

En este modelo, tras un lanzamiento de un cohete, por efecto del mismo fenómeno, la población crece exponencialmente en ausencia de límites. El tiempo necesario para el resto del tiempo de 10 a 100.

En los cuadros de 'Visualización' para visualizar el estado de los recursos y la población, después de un clic en el botón de 'Visualización'.

Como se puede observar en el gráfico, la población crece exponencialmente y se estabiliza en un valor de 100. La población llega al "estado" debido a la limitada capacidad de los recursos. La población crece exponencialmente en ausencia de límites de recursos.





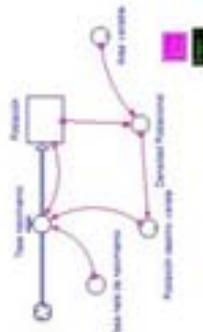
Capítulo 6. Modelos más complejos con STELLA.

6.4.4. Modelo Goal-Setting.

Este es el más sofisticado de los cuatro modelos básicos. Aquí la variable de estado Población se vincula en la definición de la densidad poblacional, junto con otras fuerzas externas. Desde la Densidad Poblacional se calcula inmediatamente como el cociente de número de individuos por área.

Densidad poblacional = Poblacion / Area variable

Modelo Goal-Setting en STELLA.



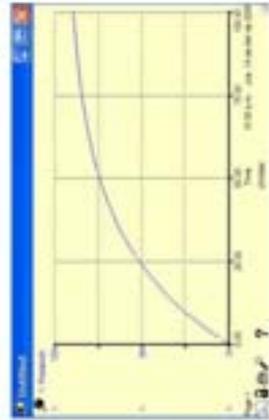
Código del modelo.

```

Poblacion(t) = Poblacion(i - dt) + (Tasa_natividad) * dt
dt Poblacion = 10

Tasa_natividad = Tasa_natividad_incremento*(Poblacion_externa_Poblacion)
Densidad_poblacional = Poblacion/area_variable
Tasa_mortalidad = Densidad_poblacional
area_variable = GOAL(area)
(10.0, 42.0), (0.25, 43.0), (10.7, 43.5), (23.0, 44.4), (33.0, 45.0), (41.7, 46.7), (50.0, 48.0), (58.0, 49.5), (65.7, 51.0), (73.0, 53.0), (80.0, 55.0), (86.7, 58.0), (93.0, 62.0), (100.0, 66.0)
Poblacion_externa_variable = GOAL(Densidad_poblacional)
(10.0, 99.0), (0.032, 99.0), (1.0, 99.0), (2.0, 99.0), (3.0, 99.0), (4.0, 99.0), (5.0, 99.0), (6.0, 99.0), (7.0, 99.0), (8.0, 99.0), (9.0, 99.0), (10.0, 99.0), (11.0, 99.0), (12.0, 99.0), (13.0, 99.0), (14.0, 99.0), (15.0, 99.0)
    
```

Gráfica

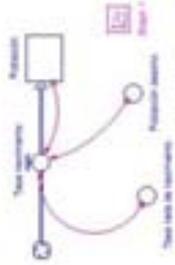


Capítulo 6. Modelos más complejos con STELLA.

6.4.5. Modelo buscando objetivos.

En este caso, una población destino es el objetivo, y la diferencia entre la población actual y la destino conduce a la población hacia el destino. Aquí específicamente se busca llegar a un valor predefinido. Por ejemplo, el crecimiento de una población (objetivo del destino en población cero), el enfriamiento de un tiempo (objetivo del destino es la temperatura ambiente) o la difusión de un gas (objetivo del destino es la concentración de un gas), para contribuir al escape del gas de su contenedor.

Modelo buscando objetivos en STELLA.



Código del modelo.

```

Poblacion(t) = Poblacion(i - dt) + (Tasa_natividad) * dt
dt Poblacion = 10

Tasa_natividad = Tasa_natividad_incremento*(Poblacion_externa_Poblacion)
Poblacion_destino = 100
Tasa_mortalidad = 0.01
    
```

Gráfica



Aquí el flujo de entrada depende no solo del stock pero también de la población destino debido al objetivo. En este modelo, cuando la población crece, la diferencia entre la población y la destino se aproxima a cero.

Código de congruencia de los unidades de medida.

Pantallas del Capítulo 7.

Modelación Matemática de Problemas Biológicos

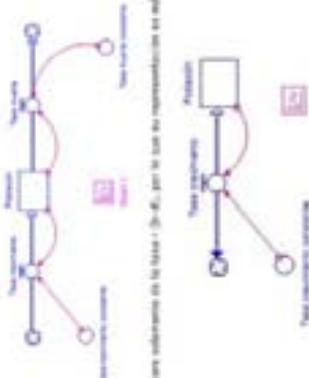
Capítulo 7. Más modelos y aspectos generales de la modelación biológica.

7.1.1. El sistema de vida.

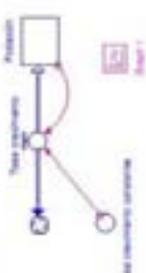
Para sistemas de una sola variable, una representación útil está dada por el conjunto formado. La respuesta de conjunto depende de una única variable de entre el sistema.

7.1.2. Modelos de vida.

Modelo de un sistema que puede regular además de ecuaciones diferenciales así con las ecuaciones y cuenta con una única propiedad de vida, el estado de la ecuación (1) donde como:



El modelo de la ecuación (2) requiere solamente de la tasa  $\beta$  y  $\delta$ , por lo que su representación es más sencilla:

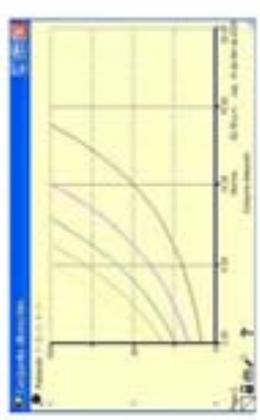


Código del modelo:

```

public void P = P(t) - (beta * S * P) + (delta * I);
public void S = S(t) - (beta * S * P);
public void I = I(t) + (beta * S * P) - (delta * I);
public void R = R(t) + (delta * I);
    
```

En la siguiente gráfica se muestran los resultados de un modelo de vida con  $\beta = 0.2$  y  $\delta = 0.1$ ,  $P_0 = 100$ ,  $S_0 = 0$ ,  $I_0 = 0$ ,  $R_0 = 0$ .



Modelación Matemática de Problemas Biológicos

Capítulo 7. Más modelos y aspectos generales de la modelación biológica.

7.1.3. La epidemia.

Cada especie por sí misma es una población biológica, ya que al ser la suficiente numerosa la población puede simplemente crecer hasta volver la tierra.

7.1.3.1. Formulación.

La mayoría de los modelos poblacionales con crecimiento analítico de vida y muerte. Esto es, la tasa de crecimiento del número de miembros de la especie depende solamente del número de los tasas de nacimiento y de muerte. En primera instancia estos tipos de modelos son lineales. Por ejemplo, considere una población de conejos, al año 20% de la población nace un año, considerando al año, entonces la tasa de crecimiento de la población será del 20% por año, donde si en el sistema se empieza con 1000, la nueva especie se multiplicará, y la tasa de muerte puede depender de otra constante. Por ejemplo, si el 5% de los conejos mueren por año la tasa será -0.05%.

De manera más general, se puede asumir que la tasa de nacimiento constante es  $\beta$  y la tasa de muerte constante es  $\delta$ , por lo tanto el cambio total por año en la población es:

$$\frac{dN}{dt} = \beta N - \delta N \dots \dots \dots (1)$$

7.1.3.2. Análisis del modelo.

Las constantes  $\beta$  y  $\delta$  son parámetros de control del sistema. En la ecuación (1) se ve que lo único que afecta al crecimiento poblacional es la diferencia entre las tasas de nacimiento y mortalidad,  $(\beta - \delta)N$ , lo que que el estado se puede escribir como:

$$\frac{dN}{dt} = rN \dots \dots \dots (2)$$

Donde  $r = \beta - \delta$ . En tal forma que antes de hacer un solo parámetro, la tasa neta de crecimiento  $r$  en población siempre es un número. El número de parámetros se reduce a un número más pequeño, para no confundir valores en los modelos matemáticamente diferentes.

Una vez que se simplifica el modelo se tiene la propiedad (anterior) dada en el comportamiento del sistema antes para diferentes valores de  $\beta$  y  $\delta$ , la población crecerá  $N_0$ . Para encontrar esta propiedad se requiere de un gráfico que indique los que significa la ecuación (2).

Capítulo 7. Más modelos y aspectos generales de la modelación biológica.

7.3. Aumento al crecimiento: la enzima lagatasa

7.3.3. Introducción del modelo

En una población real se puede esperar que la población se incrementa hasta un valor de capacidad de carga, donde la tasa de crecimiento se hace más lenta y la tasa de mortalidad se acerca a la tasa de nacimiento, ambos siendo estos, no es muy claro, pero cuando una buena especie de modelar esto es modelar la tasa de crecimiento, donde se vea:

$$r(N) = r_0(1 - \frac{N}{K})$$

donde:

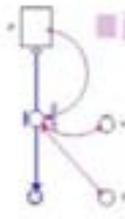
- $r_0$  = tasa que se puede esperar para poblaciones pequeñas
- $K$  = capacidad de carga

Comenzamos un poco más el modelo ya tenemos:

$$\frac{dN}{dt} = r_0 N (1 - \frac{N}{K})$$

Desde se vea que la tasa de crecimiento depende tanto de la población como del tamaño en la población. Esto es ya un problema no-lineal y más difícil de resolver analíticamente.

La solución es UTILIZAR la presencia de un computador...



7.3.3. Introducción del modelo (cont.)

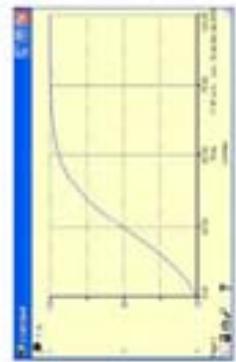
Código del modelo:

$$M(t) = N(t) - R(t) + (Cambio) * dt$$

$$M(0) = N(0)$$

INICIALIZAR:  
Cambio =  $r_0(1 - N(t)/K)$   
 $R = M(t)$   
 $N_0 = 1$

Gráfica



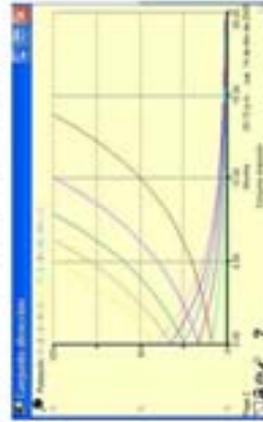
Capítulo 7. Más modelos y aspectos generales de la modelación biológica.

7.3.3. Puntos fijos

Esta forma de modelar estos problemas es a través de puntos fijos (los valores de N donde todas las ecuaciones se igualan a cero) y estabilidad. Un punto invariante es  $N_0 = 0$ , ya que no se genera nada (por otros problemas, no se puede sacar algo de la nada), nada que encontrar fuera de los puntos fijos es estable o no, la estabilidad se aprecia cambiando un poco las condiciones iniciales. Si se expresa el punto fijo (estable) o 2) se abajo del punto fijo (inestable). Así que la forma de investigar estos sistemas consiste en primero encontrar todos los puntos fijos en el problema y entonces se investiga su estabilidad.

Para el sistema de la lagatasa es claro que  $N_0 = 0$  es un punto fijo inestable cuando la tasa  $r$  es positiva, pero estable si la tasa de crecimiento es negativa. Para los problemas de decremento todos los subtemas terminan en 0 o 9 por empezar desde estos.

Para formar lo anterior se muestra al modelo con  $r = -0.2, 0$  o  $0.2$  y  $N_0 = 0, 5, 10, 15, 20, 22$  y 30.

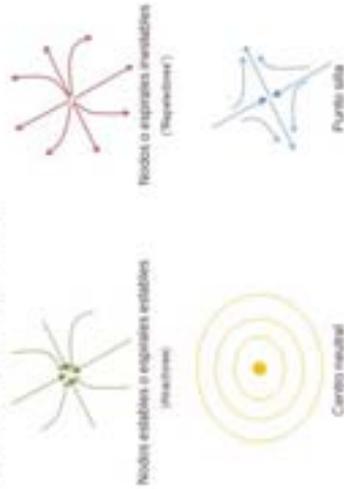




Capítulo 7. Más modelos y aspectos generales de la modelación dinámica.

7.6. Una subclase de puntos fijos.

En general hay cuatro comportamientos cualitativos diferentes, como son:



Capítulo 7. Más modelos y aspectos generales de la modelación dinámica.

7.8. Aproximamiento de STELLA.

Es un instrumento de modelación por computadora, que permite con a cualquier persona desarrollar sistemas complejos, para absolutamente comenzar diferentes experimentos entre todos los participantes.

Además, ayuda a transferir muchos modelos en sistemas más computacionales, que atraigan al modelador y a otros en el proceso de aprendizaje. Este proceso es además también en el intercambio de datos e información entre el grupo de modelación y los usuarios.

Con el incremento en la experiencia del modelador, para una amplia gama de problemas, la secuencia entre estructuras de diferentes sistemas pueden ser aprendidas al modelador. Por ejemplo, muchos modelos exitosos de la dispersión de organismos se han desarrollado utilizando analogías con la química. Finalmente, el uso de analogías puede reducir el esfuerzo para desarrollar modelos. Para esto se identifica la estructura de un problema y se compara con la estructura de otros sistemas, notando sus diferencias y semejanzas.



Capítulo 7. Más modelos y aspectos generales de la modelación dinámica.

7.3. Más en la fase plana.

Al estudiar los problemas a extremos donde interactúan dos variables, por ejemplo, problemas presa-depredador, competencia de dos especies, modelos epidemiológicos, oscilaciones no lineales, líneas e interacciones autoexcitadas, se pueden agregar uno o más grados de libertad generando más comportamientos.

7.3.1. Introducción a los sistemas 2-D. Conceptos básicos.

En un sistema 2-D se consideran sistemas dinámicos que se observan como:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, y)$$

$$\frac{dy}{dt} = g(x, y)$$

donde  $x$  y  $y$  son las dos variables de interés. Los ejemplos pueden incluir: congas, bacterias, Nudipolios parásitos e pueden ser líneas y Abacia. Los conceptos más importantes a entender, con respecto a los sistemas 2-D (y los sistemas dinámicos en general), son:

- o La fase plana
- o Fijos() sobre la fase plana
- o "Núcleo" de fase
- o Puntos fijos
- o Estabilidad

La fase plana es un gráfico donde las que son justo las variables  $x$  e  $y$ . De manera que en vez de usar gráficos de congas a bacterias contra el tiempo, es más importante ver el comportamiento de congas vs bacterias. Si se tienen 3 variables, al volar a través de donde se conoce como un espacio fase. El flujo sobre la fase plana es exactamente la misma idea de la construcción de congas de bacterias. Las relaciones individuales simplemente trazan trayectorias en el espacio fase.

En general, donde las funciones de cambio no son cero el sistema evoluciona en el tiempo sobre varias trayectorias, aspectos más interesantes que el comportamiento alrededor de los puntos fijos donde las cosas no cambian. En un punto fijo el aspecto más interesante es ver que sucede al estar cerca de él. Se pueden tener atractores estables o repulsores inestables. un problema 2-D se puede analizar aspectos como los que se presentan en las siguientes reglas básicas:

1. Formular el problema 2-D interesante
2. Encontrar los puntos fijos y categorizar la estabilidad
3. Experimentar una imagen de fase
4. Usar teoría para resolver para una única trayectoria concreta

Cuando se hace lo anterior, se cuenta con un gran plus que dice exactamente cómo el sistema antes evolucionó en el tiempo. Muchos veces se puede confirmar qué sucede aún en resolver las ecuaciones.

**Pantalla principal del curso en línea en plataforma Moodle.**

The screenshot shows the Moodle course interface. At the top, the browser address bar displays the URL: <http://131.249.90.113/moodle/ja/course/view.php?id=13>. The user is logged in as 'Azahael Ramirez Garcia'. The course title is 'Curso sobre los aspectos básicos de la modelación matemática de procesos biológicos'. The main content area shows a list of activities and resources, including 'Instrucciones iniciales', 'Bienvenida', 'PRESENTACIÓN', and several chat sessions. A sidebar on the left contains navigation menus for 'Personas', 'Actividades', 'Buscar en los foros', and 'Administración'. On the right, there are widgets for 'Novedades', 'Calendario', and 'Usuarios en línea'.

**Curso sobre los aspectos básicos de la modelación matemática de procesos biológicos.**

Los temas centrales del curso:

- Hacer estas matemáticas de la modelación de procesos biológicos
- Uso de herramientas software para la simulación dinámica de procesos biológicos
- Ejemplos de modelación dinámica de la investigación biológica

**Instrucciones iniciales**  
 Bienvenida  
**PRESENTACIÓN**  
 Chat: viernes 18 de enero, 6 de la tarde  
 Evaluación semana 1  
 Evaluación semana 2  
 Chat 25 de enero: 10 de la mañana  
 Chat 25 de enero: 6 de la tarde  
 Apuntes de la primera semana, PDF  
 Apuntes de 2da. PDF

**Cap. 1. Aspectos básicos. Términos y conceptos.**

- 1.1. ¿Qué es un sistema?
- 1.2. ¿Qué es un modelo?
- 1.3. Sistemas dinámicos
- 1.4. Dos aproximaciones de modelación
- 1.5. ¿Qué se puede hacer con los modelos?
- 1.5. Construyendo un modelo.
  - 1.5.1. Modelo conceptual
  - 1.5.2. Modelo diagramático
  - 1.5.3. Construcción de modelos matemáticos: relaciones entre variables de estado
    - 1.5.3.1. Arreglos y 1.5.3.2. Ecuaciones en diferencias
    - 1.5.4. Modelos computarizados

**Foros del CeL.**

 **Foro del capítulo 1**  
de [Armando Cervantes Sandoval](#) - lunes, 14 de enero de 2008, 13:05

Un ejemplo clásico de un modelo dinámico es una tina de baño, donde la tina es un reservorio o "stock", la llave del agua es un flujo de entrada y el drenaje de la tina es un flujo de salida.

Q: "dibujamos" la tina con su llave de entrada y su drenaje de salida, este sería un modelo conceptual.

Entonces, este es el sistema a modelar, donde la variable de estado es el volumen de la tina, que está en función de la tasa de llenado y de la tasa de vaciado.

Un modelo simple de este sistema es una derivada del volumen con respecto al tiempo, cuyo resultado depende del flujo de llenado menos el flujo de vaciado. Como este modelo ya considera el tiempo, entonces es un modelo dinámico.

NOTA: Una derivada se considera como una razón de cambio, en este caso el cambio de volumen con respecto al tiempo.

Con base en lo que han leído en este capítulo:

1. De forma análoga a este ejemplo, explique cómo se conceptualizaría el modelo de crecimiento de una población.
2. Plantee un modelo simple dentro de su área de trabajo.

Esperamos su participación.

[Responder](#)

 **Foro capítulo 3**  
de [Armando Cervantes Sandoval](#) - miércoles, 16 de enero de 2008, 03:51

Siguiendo con el ejemplo de su área de estudio, señalen

1. Los objetivos de su posible modelo.
2. La fuente de datos (datos de la literatura, trabajo de campo, experimentos, etc.)
3. Explica en que consiste la parametrización de un modelo, el análisis de sensibilidad y la validación.
4. Aparentaire para el capítulo 4, el cual vamos a revisar en dos días (jueves y viernes).

[Responder](#)

 **Foro capítulo 4, jueves**  
de [Armando Cervantes Sandoval](#) - jueves, 17 de enero de 2008, 10:15

A todos los inter-nautas del curso: Este capítulo es más difícil en su lectura que en su aplicación, así que con la promesa de que los próximos capítulos son mucho más fáciles trabajen con él hoy de hoy y el de mañana.

1. Explica con sus propias palabras la diferencia entre la  $J(1,1)$  de la ecuación (1) y la ecuación (3).
2. Explique de manera breve cómo se relacionan las ecuaciones (5), (7) y (8).
3. Descríbale con sus propias palabras la ecuación (10).
4. Explique de manera breve y con sus propias palabras la sección 4.1.

P.D. No se olviden del chat de mañana viernes.

[Responder](#)

 Fin del capítulo 6  
de Armando Cervantes Sandoval - martes, 22 de enero de 2009, 00:05

Rehacer cada uno de los ejemplos en Stella, agregar los gráficos que se mencionan en los textos del curso y agregar tablas que muestren los resultados de manera numérica.

Comparten sus dudas y logros con el resto de los participantes.

[Responder](#)

 Fin miércoles  
de Armando Cervantes Sandoval - lunes, 21 de enero de 2009, 23:50

1. Revisar la siguiente dirección y describir con sus propias palabras el modelo que allí se presenta. Se vale generar discusión y análisis con el grupo.

<http://www.santof.cl/facultades/cobasicas/matematicas/cademoicos/amarinex/Dinamica/cazador/cazador.stm>

[Responder](#)

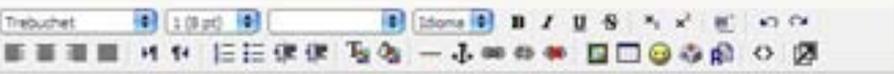
### Actividades propuestas en el CeL.

1. Explique con sus propias palabras la sección 1.6.2 y 1.6.3, sin pasar a la 1.6.3.1.

Puntos: --/1

Respuesta:

Trebuchet 1 (8 pt) Idioma



Ruta: [7 min](#)

[Enviar](#)

6. Escribir las respuestas en un archivo word y enviar a través del foro del día viernes.

1. Con base en la revisión del modelo tiburón-peces (foro del miércoles), explicar
  1. ¿Cómo se lee la expresión  $dF/dt = g(F, S)$ ?
  2. ¿Qué significa que  $g(F, 0) = aF$  o  $g(F, 0) = aF - bF^2$ ?
  3. ¿Por qué el signo negativo en la expresión  $dS/dt = -kS$ ?
  4. En el digrama del modelo, ¿dónde se está representando la interacción entre las dos poblaciones?
  5. ¿Cuáles son los valores iniciales de cada componente del modelo?
  6. En el mismo foro del viernes, enviar al menos 3 archivos en Stella (\*.stm), de los ejemplos del capítulo 6.

**Tiempo restante**  
**0:01:36**

Escriba sus dudas y comparta sus opiniones en el foro del capítulo 1

**Pregunta**

1. Describa de manera breve y con sus propias palabras: ¿qué es un sistema y qué es un modelo?

**Comentario:**

Definir un sistema es relativamente fácil, lo que se dificulta en la práctica es establecer sus límites o cotas, lo cual generalmente responde a las necesidades y requerimientos del investigador. Lo que si es importante es definir las variables de estado, como un primer avance hacia desarrollar un modelo (ecuación o conjunto de ecuaciones).

Escribir las respuestas en un archivo word y enviar a través del foro del día viernes.

I. Con base en la revisión del modelo tiburón-peces (foro del miércoles), explicar

1. ¿Cómo se lee la expresión  $dF/dt = g(F, S)$ ?
2. ¿Qué significa que  $g(F, 0) = aF$  o  $g(F, 0) = aF - bF^2$ ?
3. ¿Por qué el signo negativo en la expresión  $dS/dt = -kS$ ?
4. En el digrama del modelo, ¿dónde se está representando la interacción entre las dos poblaciones?
5. ¿Cuáles son los valores iniciales de cada componente del modelo?
6. En el mismo foro del viernes, enviar al menos 3 archivos en Stella (\*.stm), de los ejemplos del capítulo 6

**Pregunta:**

3. Casi al final de la sección 1.2 se dice que los modelos computarizados son causales en su construcción, ya que utilizan reglas generales que describen cómo cada elemento del sistema responde a cambios en otros elementos.

¿es su opinión al respecto?

**Tiempo restante**  
**0:00:56**

**Comentario:**

Todos los modelos computarizados requieren de relaciones funcionales para su "programación", aunque el software actual permite "meter" datos al modelo y el software ayuda a establecer esta relación funcional (podríamos decir que ayuda a generar las ecuaciones).

**Pregunta**

4. Explique la diferencia entre modelación analítica y la modelación por simulación (o numérica).

**Comentario:**

La modelación analítica es una de las herramientas preferidas de los matemáticos, ya que implica generar y resolver ecuaciones que generalmente son igual de complejas que el sistema a modelar. Mientras que para la mayoría de los mortales se cuenta con herramientas software de modelación visual que no requieren de muchos conocimientos de matemáticas.

**Pregunta**

2. Describa cuál es la característica que hace que un modelo sea o no dinámico.

**Comentario:**

Se consideran dinámicos a todos aquellos modelos que consideran cambios en el tiempo. Lo que genera expresiones matemáticas que se derivan con respecto al tiempo o ecuaciones diferenciales con respecto al tiempo, cuya solución numérica considera ecuaciones en diferencias. Aspectos que no debe preocuparnos mucho, ya que el software actual resuelve casi todos los aspectos de cálculo numérico.

## 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para reunir la información vertida en el CeL, en la tesis o en el sitio Web se realizó una búsqueda con temas que pocas veces se conjuntan, es decir, se buscaban resultados para la educación en línea, para la modelación en general, para el uso del Internet como herramienta de aprendizaje y para el desarrollo de modelos matemáticos. Pero como se ve, estos temas son algo distantes. Aprender a enseñar no es tarea fácil; aprender a enseñar mediante un curso en línea, lo complica un poco más; aprender a enseñar a modelar mediante un curso en línea es un reto; y aprender a enseñar a modelar sistemas biológicos mediante un curso en línea, además de generar un sitio Web que trate de esto, es un buen tema de tesis. Lo importante fue hacer esta conjunción de información, que permitiera tener un marco de referencia en español y redactado de forma accesible a los estudiantes de la carrera de Biología.

Tomando en cuenta lo importante de la modelación como herramienta, en cualquier área de la ciencia, y centrándonos en el gran apoyo que da en los sistemas biológicos, resulta necesario aplicarla para la mejor comprensión de éstos. Aunado a esto, se tiene el inconveniente de que existe poca información en español sobre el desarrollo de modelos matemáticos (ya no importando si son de sistemas biológicos). Así pues, es necesario dar a conocer esta herramienta, y es precisamente en nuestro curso en línea donde se cumple a cabalidad este objetivo.

El uso de los programas que ayudaron a realizar el sitio Web y el CeL, no presentó mayor problema. Todo tiene que ver con el ensayo y error (siempre existe un "Ctrl + Z" para deshacer cambios). Todos los programas tienen un curso introductorio y un tutorial que ayudan a dar los primeros pasos en su uso. Al finalizar esta tesis, el autor no se considera experto en Dreamweaver, Moodle o Stella, pero si un usuario avanzado que puede ayudar a generar conocimiento a través de estos programas.

El sitio *Web* desarrollado tiene la gran ventaja de ser simple, cuatro pantallas que contienen la información necesaria para iniciar con la teoría de la modelación matemática. Sólo se necesitan a lo más 3 clics para acceder a la información, mejor aún, ya sea que se descargue de nuestro sitio o se consulte todas las veces que se quiera, las 24 horas al día los 365 días del año. Aunque se necesitará un equipo de trabajo para darle el mantenimiento debido. La actualización del sitio debe ser una tarea

imprescindible, ya sea en contenido y en forma, o en su diseño y desarrollo. Ya existen programas en el mercado que ayudan a gestionar los contenidos de un sitio *Web*, basta con descargarlos y aplicarlos en la forma más conveniente para que la información fluya, y así el sitio presente más dinamismo.

Para desarrollar un curso en línea debería de tener un equipo de trabajo que contenga como mínimo (Alanís, 2004):

- **Diseñador gráfico:** para desarrollar materiales visualmente atractivos y profesionales.
- **Diseñador de páginas de Internet y familiarizado con las plataformas de gestión de cursos,** tal como Moodle: para el montaje y diseño del curso en línea.
- **Productor de audio y video:** dado que algunos materiales pueden incluir pequeños clips de video o clips de voz para acompañar las presentaciones multimedia.
- **Profesor editor de los contenidos y personal de apoyo a la docencia:** ayuda a la recopilación de materiales, edición del contenido del curso y algunos asuntos relacionados con los alumnos.
- **Experto en pedagogía:** el profesor experto en la temática no es por lo general un experto en educación y menos en educación virtual, se necesita a un especialista que ayude en la construcción de guías metodológicas y estrategias didácticas.

Para el desarrollo de este trabajo no se contó con todo este equipo de personas, así que fue necesario aprender todos estos roles de una manera satisfactoria para poder desempeñar todas las tareas.

La parte del diseño (gráfico y de páginas de Internet) se subsanó principalmente mediante los cursos tutoriales de los programas usados y libros manuales de éstos mismos programas. Como diseñador se aprendió a editar imágenes, usando el programa Corel PHOTO-PAINT, realización de ilustraciones y dibujos con el programa CorelDRAW, las animaciones se realizaron utilizando el programa Flash de Adobe; de esta manera se

conjuntó el material para ser utilizado en *hojas Web*, que fueron desarrolladas con el programa Dreamweaver.

En el CeL se prefirió no abordar una gran producción de audio y video. Toda vez que no se contaba con los paquetes de programa necesarios. Sin embargo, esto no desanimó los intereses de entrega multimedia, ya que se incluyeron animaciones que contienen clips de audio, comentarios sobre los diagramas y su representación. Además, en la realización de videos es necesario que se cuente con un guión, así se asegura que el video tiene un propósito al realizarse. Lo anterior indica una "pre-producción del video", haciéndolo más costoso en tiempo y dinero.

En lo referente al profesor especialista en el tema y editor de los contenidos del CeL, es obvio que los especialistas son en este caso el tesista y el director de tesis. Tarea ardua, pues de aquí se desprende el curso: recopilación de información, su síntesis, puesta a disposición, formación del contenido, estructura del curso, desarrollo de actividades y ejemplos.

Por último queda el experto en pedagogía. Está fue un área nueva, ya que al ser biólogos no se está relacionado con pedagogos o psicólogos. La realización de las actividades y la metodología del curso, para no tenerlas "antipedagógicas", se basó en cursos ya probados en Internet, se tomó como ejemplo algunos cursos en línea, además de consultar bibliografía referente a técnicas y metodologías aplicadas a la educación en línea.

La tarea del diseño del curso no fue fácil. Se necesitó de la capacidad de síntesis de la información, de conformarla en capítulos que fueran entendidos fácilmente, para un mejor aprovechamiento. Después de tener el contenido del curso y sus ejemplos, vienen las actividades. Las actividades fueron pensadas para foros de discusión, para así tener un mejor aprovechamiento de las ideas vertidas en el foro, teniendo también una interacción entre los alumnos del curso. Es por eso que cada capítulo tiene un foro, esto ayuda al reforzamiento del aprendizaje, y a tener una idea de su aplicación en el campo biológico, compartiendo las ideas con los demás biólogos.

Los cuestionarios agregados al curso ayudaron a tener los conceptos importantes frescos y muy claros. Si bien la modelación es un proceso abstracto donde el modelador

contrasta sus hipótesis, es importante tener los conceptos homogeneizados, para tener todos la misma información.

En la Biología se modela. Existe una gran cantidad de modelos aplicados a ramas como la Endocrinología, Biología Molecular, Ecología, Parasitología, Fisiología, Limnología, Acuicultura. El principal problema es que no menciona, paso a paso, cómo es que se llega a tener un modelo de tales o cuales magnitudes.

Existe información para desarrollar modelos matemáticos, aunque se encontró un tanto dispersa. Más aún, el desarrollo de modelos matemáticos aplicados a la Biología parece ser una práctica común, pero la revisión de la bibliografía sigue siendo algo tediosa, sumándole la revisión de las matemáticas implicadas, da como resultado el poco incentivo que se tiene para recurrir a la modelación.

Resuelto el problema de la búsqueda y síntesis de información, ahora se necesitaba plasmar en algún documento sencillo la mejor manera de modelar. Así pues, se desarrolló el curso en línea, tomándose la plataforma Moodle para realizarlo. Obligándose a manejarlo de una manera más que satisfactoria para realizar un curso que estuviera totalmente disponible, con actividades, bibliografía de apoyo, ejemplos y una fuerte relación profesor-alumno.

La modelación matemática y computacional emerge como una técnica de estudio del comportamiento de los sistemas biológicos complejos. Actualmente la modelación es una herramienta fundamental para la formación del biólogo, ya que es un apoyo invaluable en el manejo y administración de los recursos naturales. Es por esto que nuestro principal objetivo fue enseñar a modelar, a ofrecer una herramienta para dar el siguiente paso, ya se vio que la modelación no sólo indica qué va a pasar a futuro con un sistema, también da una idea del estado actual de éste, más aún, pone de manifiesto características o parámetros no estudiados pero indispensables para su comprensión. De tal forma, que se seleccionó el desarrollo de modelos para hacer una contribución al trabajo que se hace en Biología, más que para hacer una contribución a la Biología pura.

En este trabajo la principal herramienta para la modelación fue la computadora, utilizando el programa Stella. Él cual fue seleccionado por su fácil uso, gracias a que el modelo se "dibuja" mediante iconos, y la parte matemática es fácil de manejar, debido a que el programa ya trabaja con ecuaciones en diferencias. Habrá que indicar que Stella

no es un programa de licencia libre, ni de código abierto, haciéndolo poco accesible, debido principalmente a su precio. Sin embargo, existen gran cantidad de instituciones educativas que lo manejan, brindando un respaldo con respecto a su uso.

Aunado a lo anterior, existen gran variedad de programas de modelación: Netlogo, Octave, EcoNet, PowerSim, Simulink, Model Maker, por mencionar sólo algunos. Se descartaron algunos de estos programas porque no utilizaban diagramas de Forrester, que son una representación simbólica de las variables del sistema y constituyen un paso intermedio entre el diagrama causal y el sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden (ISA, 2006), muy difundidos en el área de modelación en Biología; dicho diagrama no es más que un modelo diagramático que muestra con toda claridad los flujos, reservorios y convertidores del sistema de estudio. Después se pasa al costo, encontrándose de primera instancia los *muy caros*, *los caros* y los de *uso libre*, jamás hubo uno *barato*. No se seleccionó uno de *uso libre* por algo muy simple: puede ser que el programa de *uso libre* ofrezca las mismas ventajas que el programa comercial, aunque el comercial le lleva una de más, el respaldo al usuario, sea éste una institución, una empresa o un particular. No todos los programas de uso libre ofrecen ayuda o respaldo a sus usuarios, y de ofrecerlo, pocas veces es en el idioma español. También hay que añadir que normalmente la interface del programa de *uso libre* normalmente es algo confusa o poco amigable, lo que con un programa comercial pocas veces ocurre (tiene que ser vistoso para vender). Así que se seleccionó un programa comercial: Stella. Ya se comentó todas las ventajas del programa, una más: algunos programas de *uso libre* tienen un apartado o una interface especial que permite trabajar con ellos como si estuviera trabajando con Stella, demostrando que el programa que se utilizó es líder en el área.

Para comprender el proceso de la modelación fue necesario tener modelos ya terminados, para utilizarlos como ejemplo. Para esto también fue necesaria la revisión de bibliografía que incluyera modelos matemáticos realizados en Stella, con su desglose del desarrollo y aplicación del modelo, además de contar con el archivo que pudiera ser revisado. El tener archivos que ejemplifiquen de manera sencilla un sistema, ayuda a estudiar de una manera más precisa las partes que componen el desarrollo del modelo. Poder “quitar o poner” datos o funciones permite observar la dinámica de de un sistema dado, y mejorar el entendimiento de los pasos a seguir.

También se agregó un *Chat* al curso, esto para ayudar a una mejor comprensión. Contestando preguntas en línea y en tiempo real, se tiene la sensación de una personalización de las dudas, tal y como sucede en un salón de clases. Teniendo acceso al profesor del curso, que orienta de manera directa, con el beneficio de que el alumno ya tiene una base, que son las lecturas, las actividades y materiales dados. Las dudas o comentarios expuestos en el *Chat* son lo más cercano a una clase presencial, lo que indica la importancia de dicha actividad, una forma muy tangible de la interacción profesor-alumno.

La respuesta de los alumnos hacia nuestro CeL fue totalmente satisfactoria, se puede observar en los foros el interés mostrado en ellos. Las actividades siempre fueron de la mano con el contenido, tratando de resolver las dudas conforme el curso avanzaba. Mención especial debe de tener el Capítulo 4: Elementos matemáticos en la modelación, pues al contener la base matemática para desarrollar diferentes tipos de ecuaciones de crecimiento, de flujo energético y de materia, la respuesta fue de "bloqueo", pues parece ser que se tiene una mala predisposición a las matemáticas. Es por lo anterior, que en nuestro CeL no se trató de memorizar las ecuaciones, sino comprenderlas, saber su origen y desarrollo; la memorización de las ecuaciones podría ser por su repetido uso, no por una imposición "sin sentido".

El curso en línea realizado para esta tesis no es un trabajo nuevo en el área, pero si ofrece un primer acercamiento para aquellos investigadores y estudiantes que pretender ir más allá con el manejo de sus datos. Para encontrar más información sobre el uso de guías para la modelación de sistemas dinámicos puede consultar la página <http://sysdyn.clexchange.org/road-maps/rm-toc.html>, donde se ofrece una guía en línea, para el autoaprendizaje, desarrollada por Jay Forrester, profesor del MIT.

## 9. CONCLUSIONES

El desarrollo del sitio *Web* y del CeL requirió de una ardua labor de síntesis, dado que los materiales que se pudieran usar en una clase presencial y que podrían irse recabando a lo largo del curso, en nuestro CeL se recabaron y aplicaron desde el desarrollo del mismo.

Sitios como Biomat son necesarios, en primera instancia porque hay pocos en español, pero más allá del idioma, el sitio puede ser “la punta del Iceberg” para inmiscuirse en el gran mundo del desarrollo de modelos matemáticos. Se tiene en Biomat un buen principio: los documentos teóricos, los documentos que lo llevan paso a paso, y ejemplos de modelos ya usados y probados para su aprendizaje. Si bien no toda la información está en español, si se tiene un compendio importante, que favorece al aprendizaje y búsqueda, sin tener que perderse entre páginas de Internet.

El sitio *Web* contiene información acerca de la modelación, guías y otros cursos en línea. Su principal atractivo es la facilidad con la que el usuario puede consultarla, basta un solo clic para descargar los archivos. Los cursos en línea ahí mostrados son de instituciones con amplio estudio en modelación de sistemas dinámicos. Además de servirnos como página de difusión de nuestro CeL, el material que ésta contiene ha sido revisado por expertos en la materia, sin embargo los enlaces externos que contiene no son de nuestra responsabilidad, lo que puede ocasionar enlaces rotos, cambio de dirección o poco mantenimiento de los servidores donde estos se localizan. Aún así, la información que se contiene es de primera mano y siempre dinámica, asegurando contenidos de calidad y recientes.

El CeL se presenta atractivo, con actividades, tareas, foros de discusión y *Chat's*. Todo esto dirige al alumno, o mejor dicho es un aprendizaje autodirigido; donde el alumno puede consultar los temas las veces necesarias, al tiempo que él decida, discutir en el foro o *Chat* los temas que él considere pertinentes, y al término el fin es el mismo: el aprendizaje del desarrollo de modelos matemáticos aplicados a sistemas biológicos.

La educación en línea es una potente herramienta para dar a conocer de una manera más rápida y a la vez eficiente, las nuevas técnicas o métodos usados en la investigación biológica de vanguardia. La educación en línea no reemplazará a la educación tradicional, la hemos tomado como una alternativa para el proceso de enseñanza-aprendizaje. Se

apoya en ella para llevar a más personas los conocimientos generados, se ha puesto de manifiesto la solidez que presenta, al tener resultados satisfactorios a lo largo de la impartición de un curso.

Una razón muy importante para modelar es el por qué se va a modelar, el punto de partida. Muchos modeladores consideran al propio sistema como un buen punto de partida, esperando tener la habilidad para reproducir su sistema en una computadora, que a todas luces es irrealizable, y así poder diseñar experimentos para mayor comprensión. Lo mejor sería formularse preguntas, preguntas generales o en específico, y éstas ubicarlas como punto de partida, y así, formular hipótesis, respuestas a las preguntas. Lo anterior ayudará mucho para el diseño y desarrollo de un modelo. De esta manera, cada pregunta que formulásemos, tendrá varias respuestas, pero cada respuesta estará sustentada con alguna salida de nuestro modelos, tomando así, la respuesta que "mejor se ajuste" a lo observado en el mundo real.

La modelación ofrece la posibilidad de la exploración de ideas que no son fácilmente probadas en el campo experimental o en los estudios de laboratorio. Los ecólogos por ejemplo, usan los modelos para simular los sistemas de estudio, y así investigar sobre algunas teorías que indiquen como operan dichos sistemas. Más aun, la simulación de sistemas, con ayuda de los modelos, permite identificar datos necesarios para el conocimiento de los sistemas.

Es evidente que la modelación matemática en Biología es más que una nueva herramienta, ya que se utiliza desde la década de los 80's. En este contexto, aprender a "hacer modelación", debe ser entendido como un paso más para la comprensión de los sistemas biológicos.

Finalmente, la tesis presenta un tema actual: la modelación de sistemas biológicos. El trabajo realizado no es un trabajo de campo, de laboratorio o teórico; es un trabajo de enseñanza. Es una contribución para mejorar nuestra manera de "hacer Biología", es la enseñanza para aprender a usar una herramienta que incrementa nuestro conocimiento de los sistemas biológicos.

## 10. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alanís M. **2004**. Preparando cursos en línea para ser impartidos por Internet. Ponencia en: Primer Congreso Virtual Latinoamericano de Educación a Distancia. Línea temática 3: Tecnología Educativa. LatinEduca2004.com
- Biembengut M. S. **1999**. Modelagem matematica & implicações no ensino-aprendizagem de matemática. Blumenau. Editora de FURB.
- Burgos D. y Corbalan G. **2006**. Modelado y uso de escenarios de aprendizaje en entornos e-learning desde la práctica educativa. III Jornadas Campus Virtual. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid.
- Corona Frutos M. y Zatarain de Losada. **2002**. El curso en línea ¿Recurso o modalidad alternativa? Coordinación General de sistema para la Innovación del Aprendizaje (INNOVA). Universidad de Guadalajara. México.
- Fernández Quiroga M. P. **2005**. Estado del arte en modelación funcional-estructural de plantas. Bosque (Valdivia). 26(2):71-79.
- Goel P. K., Peruggia M. y Baoshe A. **1997**. Computer-aided teaching of probabilistic modeling for biological phenomena. The American Statistician. 51(2):164-169.
- Gómez Alcaraz G y Pérez Martínez R. **2000**. Bachillerato Único Virtual Gratuito. Memorias del XVI Simposio de la Sociedad Mexicana de Computación en Educación. México.
- Guardaño Navarro G. y Enríquez Borja M. I. **2007**. Moodle: una herramienta libre para la formación de usuarios virtual en la biblioteca de la Universidad de Málaga. 2a Jornada Internacional de Software Libre para Bibliotecas. Barcelona, España.
- Grimm V. **1994**. Mathematics models and understanding in ecology. Ecological Modeling. 75/76:641-651.
- Gurney W. S. C. y Nisbet W. R. **1998**. Ecological dynamics. Oxford University Press. 335 pp.
- Haefner J. W. **2005**. Modeling biological systems: principles and applications. 2a. edición. Ed. Springer. 480 pp.
- Hall C. A. S. y Day J. W. Jr. **1977**. Systems and models: terms and basic principles. En: Hall C. A. S. y Day J. W. Jr. (Editores.). Ecosystem modeling in theory and practice: An Introduction with case histories. New York. 6-36.

- Hannon B. y Matthias R. **1994**. Dynamic modeling. Ed. Springer-Verlag. New York.
- Harmand J., Lobry C y Rapaport A. **2004**. Modelación y problemas matemáticos para la descontaminación biológica. Memorias del Taller Mathematics for the management of renewable resources. Centro de Modelamiento Matemático. Universidad de Chile.
- Henry P. **2001**. E-learning technology, content and services. Education + Training. 43(3). 249-255.
- Hernández Pereira R. **2001**. Educación en línea, definición y discusión: educación mediada por computador. ELAC. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Jackson L. J., Trebitz A. S. y Cottingham K. L. **2000**. An introduction to the practice of ecological modeling. BioScience. 50(8):694-706.
- Jones E. y Martínez M. **2001**. Learning orientations in university web-based courses. En: Lawrence-Fowler W. y Hasebrook J.(Editores). Proceedings of WebNet 2001. Norfolk, Va: AACE.
- López García P. y Sein-Echaluce Lacleta M. L. **2006**. Moodle: difusión y funcionalidades. Jornadas: Innovación docente, Tecnologías de la Información y la Comunicación e Investigación Educativa en la Universidad de Zaragoza. Caminando hacia Europa. Bloque III: Tecnologías de la Información y la Comunicación. Universidad de Zaragoza. España.
- Mancinas A. **1999**. Modelo y simulación de procesos: una estrategia para el estudio del ciclo del agua en la escuela primaria. Memorias electrónicas del V Congreso Nacional de Investigación Educativa. Área 2C. Consejo Mexicano de Investigación Educativa. México.
- McCulloch A. y Huber G. **2003**. *In silico* simulation of biological processes. Wiley. New York.
- Moreno Hernández J. A. **2002**. Aulas de cómputo en la enseñanza de la Biología. Memorias del XVIII Simposio de la Sociedad Mexicana de Computación en Educación. México.
- Orzack S. H. y Sober E. **1993**. A critical assessment of Levins's The strategy of model building in Population Biology (1966). The Quarterly Review of Biology. 68(4):533-546.

Rodríguez Carbajal R. A., Sánchez Schmitz G. G. A., Pérez Soltero A., Barceló Valenzuela M., López Navarro I. R. y Pérez Pérez D. **2002**. Experiencias en la estandarización de cursos en una Institución de Educación Superior de México utilizando una plataforma educativa de software libre.

Zurita L. **2006**. Una contribución a la evaluación de entornos virtuales de aprendizaje. III Conferencia Internacional ELAC. Costa Rica.

Kaplan–Leiserson E. **2007**. *E-Learning Glossary*. En:  
<http://www.learningcircuits.org/glossary.html>

NSF (National Science Foundation). **1996**. Modeling of biological systems. En:  
<http://www.nsf.gov/bio/pubs/reports/mobs/mobs.htm>

## 11. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Barrera Rodríguez S. **2002**. Piloteo de alumnos 100% en línea, junto con alumnos presenciales apoyados en línea a nivel licenciatura. Sociedad Mexicana de Computación en Educación (SOMECE). XVIII Simposio Internacional. México.
- Campollo Rivas O. **1994**. Modelos matemáticos en medicina y biología. *Revista de Investigación Clínica*. 46(4):307-321.
- Cisneros Hernández L. **2007**. Factores de interacción persona-computador que generan satisfacción o frustración de los estudiantes de posgrado en un curso en línea. IX Congreso Nacional de Investigación Educativa, Área 7: Entornos virtuales de aprendizaje. México.
- Chris E., Nicola J. G., Kavita S. y Darren K. G. **2004**. Virtual learning in the biological sciences: pitfalls of simply "putting notes on the web". *Computers & Education*. 43:49–61.
- Costanza R. y Gottlieb S. **2001**. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. *Ecological Modelling*. 143:1–7.
- Delgado K. **2005**. Las plataformas en la educación a distancia. *Revista Iberoamericana de Educación*. 37:1-5.
- Di Leva A., Berchi R, Pescarmona G. P. y Sonnessa M. **2005**. Analysis and prototyping of biological systems: the abstract biological process model. *International Journal of Information Technology*. 2(3):216-224.
- García-Barrios L. E., Speelman E. N. y Pimm M. S. **2008**. An educational simulation tool for negotiating sustainable natural resource management strategies among stakeholders with conflicting interests. *Ecological Modelling*. 210:115–126.
- Jørgensen S. E. **1999**. State-of-the-art of ecological modelling with emphasis on development of structural dynamic models. *Ecological Modelling*. 120:75–96.
- Kazancı C. **2007**. EcoNet: A new software for ecological modeling, simulation and network analysis. *Ecological Modelling*. 208:3–8.
- Moreno Hernández J. A. **2002**. Propuesta para el desarrollo de un Centro Virtual de Enseñanza de la Biología (CEVIENBI). Sociedad Mexicana de Computación en Educación (SOMECE). XVIII Simposio Internacional. México.

Novosel'tsev V. N. **2006**. Mathematical modeling in Biology: systems capable to live and die. Automation and Remote Control. 6(67):835–855.

Pérez Fragoso C., Tinajero Villavicencio G. y López Bonilla G. **2007**. El aprendizaje en entornos virtuales: La voz de los estudiantes. IX Congreso Nacional de Investigación Educativa, Área 7: Entornos virtuales de aprendizaje. México.

Vázquez-Roman R., King J. M. P. y Bañares-Alcántara R. **1996**. Computers chem. Engng. 20(Suppl):S309-S314.

Zongkai Y. y Qingtang L. **2007**. Research and development of web-based virtual online classroom. Computers & Education. 48:171–184.

Germán Amaya F. **2005**. Los entornos virtuales de simulación de la realidad, espacios vistos como ejes que permiten situar el aprendizaje dentro de un contexto institucionalizado de educación. En: [http://www3.usal.es/~teoriaeducacion/rev\\_numero\\_07/n7\\_art\\_gaf.htm](http://www3.usal.es/~teoriaeducacion/rev_numero_07/n7_art_gaf.htm)

ISA (Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad de Málaga). **2006**. Modelado en dinámica de sistemas. [http://www.isa.uma.es/C17/Presentaciones%20de%20Clase%20\(ppt\)/Document%20Library/SEMINARIO\\_dinamica\\_sistemas.pdf](http://www.isa.uma.es/C17/Presentaciones%20de%20Clase%20(ppt)/Document%20Library/SEMINARIO_dinamica_sistemas.pdf)

Morten F. P. **2002**. Online Education Systems: Discussion and definition of terms. NKI Distance Education. <http://nettskolen.nki.no/forskning/Definition%20of%20Terms.pdf>