

Desarrollo de un software educativo para la comprensión de Sistemas lineales de ecuaciones diferenciales de primer orden

Abstract

Este proyecto final de carrera tuvo por objetivo investigar el uso que actualmente se hace de las TIC en la educación superior en el tema “Ecuaciones diferenciales” y desarrollar una aplicación capaz de realizar simulaciones de modelos matemáticos de sistemas dinámicos lineales bidimensionales, autónomos y no autónomos, de variable continua a coeficientes constantes. La metodología consistió en tres etapas: 1) definición de secuencias de enseñanza implementadas por la cátedra de Análisis Matemático II y análisis de material bibliográfico y didáctico; 2) estudio de entornos de programación de licencia libre y gratuita, específicos para aplicaciones matemáticas y 3) desarrollo del software educativo. Como resultado, se construyó en Descartes 5 el objeto de aprendizaje DaVinci 1.0, que provee visualizaciones dinámicas en el Plano de Fase del campo vectorial/direccional y la órbita solución del sistema para las condiciones iniciales ingresadas por el usuario; mientras que en el Plano de las Series de Tiempo simula el comportamiento de las variables de estado. Con este simulador, los alumnos y la cátedra pueden disponer de un recurso didáctico digital de licencia libre y gratuita que contribuya a mejorar la comprensión de los sistemas dinámicos.

Palabras Clave

Objeto de aprendizaje, Sistemas dinámicos, Comprensión, Simulador

Introducción

En Ingeniería son habituales las situaciones en las que es necesario encontrar la solución de un sistema de ecuaciones diferenciales y si ello no es posible, al menos predecir el comportamiento a largo plazo del mismo. En su labor profesional, es fundamental que el ingeniero tenga dominio de esta temática, pero es en la instancia de su formación académica donde dificultades de comprensión que merecen ser atendidas salen a la luz.

Una profusión de exámenes de Análisis Matemático II (AM II) evidencia que los alumnos aplican habilidades de rutina

mecánicamente y no detectan siquiera que arriban a respuestas imposibles, a veces a causa de algún error algebraico menor. Lo expuesto revela desempeños basados en conocimientos y modos de pensar no disciplinarios, no autorregulados ni integradores, con dificultades para transferir conceptos a otros contextos. Seguramente, esta forma de proceder replica y se deriva del tratamiento cuantitativo que hacen los libros de texto y pone de manifiesto un conocimiento ingenuo, ritual e inerte, que caracteriza a la categoría más baja de la comprensión [1], [2].

Es consabida en el ámbito académico la influencia de la tecnología en pos de propiciar el aprendizaje y la enseñanza de la matemática. Stone Wiske [2] afirma que puede perfeccionar y enriquecer de diversas maneras los desempeños de comprensión. A su vez, el NCTM (National Council of Teachers of Mathematics) profundiza: “los docentes deben estar preparados para determinar cuándo y cómo sus estudiantes pueden utilizar las herramientas tecnológicas con mayor eficacia” [4].

Bajo un enfoque cualitativo, la cátedra de AM II ha realizado algunas experiencias usando el SAC Mathematica. Pero la producción de visualizaciones llevada a cabo sólo por el docente porque el dominio de la sintaxis requerida impone una agenda inviable y el uso limitado exclusivamente al aula debido a la cantidad insuficiente de licencias, justificó la necesidad de una aplicación que satisficiera no sólo los requerimientos de funcionalidad, sino también de usabilidad y disponibilidad libre y gratuita.

Elementos del Trabajo y metodología

1) Definición de secuencias de enseñanza y análisis de material bibliográfico y

didáctico. En el dictado de la unidad “Ecuaciones diferenciales”, la cátedra de AM II hace uso intensivo de interpretaciones gráficas provistas por SW. Durante el desarrollo de la teoría cualitativa, las visualizaciones constituyen un apoyo primordial en el tratamiento conceptual de la estabilidad de un sistema

(autónomo o no), así como la discusión de la forma de su órbita, dado que hallarla analíticamente en algunos casos no es posible y, en otros, necesita de numerosos teoremas y de tediosos cálculos concretos. La tabla 1 resume las fortalezas y debilidades de los recursos TIC utilizados [5], [6].

Tabla 1. Fortalezas y debilidades de los recursos TIC utilizados en la enseñanza de ecuaciones diferenciales.

	Fortalezas	Debilidades
SAC Mathematica	Grafica el campo vectorial o direccional de cualquier sistema autónomo. Obtiene la expresión analítica de las funciones incógnita. Grafica las series de tiempo. Calcula los autovalores y autovectores de la matriz del sistema.	No grafica el campo vectorial ni direccional de sistemas no autónomos. Requiere conocer la sintaxis del lenguaje. Los ítems enumerados en las fortalezas deben ser programados por el usuario. No es interactivo. La UTN-FRSF sólo tiene licencias para uso demostrativo en el aula.
Objeto de aprendizaje de la Univ. de Belgrano	Es interactivo, el usuario puede manipular gráficamente las condiciones iniciales e ingresar las ecuaciones del sistema dinámico y el lapso de tiempo de observación, sin necesidad de programar. Grafica el campo vectorial de sistemas autónomos. Grafica la trayectoria solución de sistemas autónomos. Permite hacer zoom.	No siempre está disponible en la Web. No grafica el campo direccional del sistema autónomo. No permite el ingreso de las ecuaciones de un sistema no autónomo. No grafica las series de tiempo. Las condiciones iniciales no pueden establecerse con precisión debido a que su manipulación es exclusivamente gráfica.
Objeto de aprendizaje de Wolfram Demonstrations Project	Es interactivo, no requiere programar. Muestra el campo vectorial y la trayectoria solución de un sistema autónomo. Pueden manipularse las condiciones iniciales mediante un control gráfico. Puede establecerse el tiempo de observación del sistema mediante un deslizador. Permite ingresar los autovalores de la matriz del sistema moviendo sobre un sistema de ejes cartesianos una parábola que representa el polinomio característico, de modo que puedan observarse gráficamente sus raíces. Muestra los autovalores del sistema.	No opera sobre sistemas no autónomos. No grafica las series de tiempo. Trabaja sobre un sistema autónomo establecido por defecto. No permite editarlo, sólo pueden manipularse los autovalores. No muestra explícitamente las ecuaciones del sistema. No muestra los ejes del plano fase, ni escala. No pueden conocerse las coordenadas del punto que representa las condiciones iniciales. No muestra el intervalo de tiempo de observación. No permite hacer zoom. No grafica ciertas trayectorias solución si el intervalo de tiempo de observación es muy grande y el equilibrio del sistema es inestable.

Esta etapa incluyó también la indagación en publicaciones de congresos de Enseñanza de Matemática en Carreras de Ingeniería referidas al uso de TIC en la enseñanza de ecuaciones diferenciales. Sin embargo, las comunicaciones [7], [8], [9], [10], se limitan a socializar herramientas tales como Maxima, Octave, Maple, MatLab, Mathematica, Graphmatica, y Graph, entre otras. En síntesis, para resolver los trabajos prácticos el alumno debe codificar en un lenguaje de




programación con la consecuente carga extra de combinar las convenciones del lenguaje matemático con las del propio SW utilizado, situación que agudiza la dificultad cognitiva de hacer foco en lo conceptual.

2) Análisis de plataformas de desarrollo de SW. Las particularidades del producto de SW que se planteó en el Proyecto Final de Carrera (PFC) requerían de una plataforma específica para aplicaciones matemáticas, de licencia libre y gratuita, con soporte de

las funciones del cálculo, resolución de sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO) y capacidad gráfica para visualización de planos cartesianos, curvas

y campos vectoriales y direccionales. En la tabla 2 se consigna información general de las tres plataformas que fueron evaluadas para la posterior selección de una de ellas.

Tabla 2. Plataformas para el desarrollo de aplicaciones matemáticas.




	 Geogebra	 Descartes	 Octave
<i>Versión</i>	4.4	5	3.8
<i>SO</i>	Windows/Mac/Linux	Windows/Mac/Linux	Windows/Mac/Linux
<i>Licencia</i>	GNU GPL	EUPL v.1.1	GNU GPL
<i>Lenguaje</i>	Java	Java	C++
<i>Web</i>	http://www.geogebra.org	http://arquimedes.matem.unam.mx/Descartes5/distribucion/	http://www.gnu.org/software/octave/

El proceso de selección se llevó a cabo a través de dos actividades complementarias: la “valoración cuantitativa” y la “valoración cualitativa”. Este esquema de trabajo se diagramó con la intención de que cada actividad subsane las falencias de la otra.

Valoración cuantitativa. La tabla 3 compendia la calificación de cada plataforma, asignada en base a una comparación objetiva y como resultado de sumar una unidad por cada recurso o funcionalidad de interés ofrecido de

manera inmediata y directa por la plataforma, esto es, que no requiera ser emulado mediante algún artificio o suplantado por una serie de procedimientos. Si bien se reconocía que éste era un método de puntuación muy elemental, puesto que carecía de la ponderación de cada criterio, pretendía restringir las posibilidades de subjetividad en la posterior actividad de “valoración cualitativa” y constituyó un primer elemento a tener en cuenta en la decisión final de selección.

Tabla 3. Valoración cuantitativa de plataformas para el desarrollo de aplicaciones matemáticas.

Criterio de benchmarking			
<i>Ayuda:</i> Foros/tutoriales/manuales	1	1	1
<i>Programación:</i> Interfaz gráfica de programación; Manejo de excepciones; Estructuras de control: If-Else, Do-While, For, Repeat-Until	1	2	5
<i>Instalación:</i> Se libera al alumno de la instalación del intérprete	1	1	0
<i>Funcionalidad núcleo:</i> Graficador de campo vectorial; Escalamiento de los vectores del campo; Normalización de los vectores del campo; Configuración de la densidad del campo; Graficador de campo direccional; Implementación de algoritmo de resolución numérica de sistemas dinámicos autónomos; Implementación de algoritmo de resolución numérica de sistemas dinámicos no autónomos	1	6	3
<i>Facilidades para diseño de la GUI:</i> Botón; Lista desplegable, Campo editable; Control gráfico; Pulsador; Checkbox; Tab; Tooltip; Ayuda contextual; Zoom del espacio asignado a la representación gráfica; Desplazamiento del plano coordenado dentro del espacio asignado a la representación gráfica; Visualización de más de un plano coordenado en la misma ventana	9	12	3
<i>Tipos de objetos y atributos:</i> Implementación del objeto gráfico “Vector”; Implementación del objeto gráfico “Segmento”; Implementación del objeto gráfico “Punto”; Estilos aplicables a los objetos (grosor, color, transparencia); Capacidad para manipular la razón de aspecto entre los ejes coordenados	5	4	4
<i>Otras funcionalidades:</i> Soporte de animaciones; Inserción de imágenes (png/gif/jpg); Exportación a páginas Web; Inserción de enlaces URL; Reproducción de videos	3	5	1
	Σ 21	31	17

Valoración cualitativa. Se evaluó, mediante un procedimiento top-down, la pertinencia y relevancia para el desarrollo del objeto de aprendizaje de cada uno de los elementos de comparación entre plataformas, explorando en primera

instancia las capacidades prioritarias macro, para luego adentrarse en facilidades específicas. Se hizo foco en el núcleo de funcionalidad a la que da soporte cada plataforma, luego se analizó su potencialidad de programación y se

procedió a explorar el esfuerzo requerido por parte del usuario para ejecutar la aplicación resultante. De esta terna de elementos considerados quedó desestimada Octave como plataforma factible debido a que sólo admite interacción por línea de comandos; lo que implica que el usuario instale el intérprete (previamente descargado de la página web oficial) y ejecute la aplicación desde el propio entorno. En cambio, en Descartes y Geogebra, la comunicación entre intérprete y aplicación es transparente para el usuario y la ejecución de ésta se efectúa en el contexto de un navegador. Circunscripta, luego, la tarea a decidirse entre Descartes y Geogebra, la evaluación se centró en la potencialidad para diseño de la GUI (Graphic User Interface), factor primordial para cubrir necesidades de usabilidad teniendo en cuenta que los principales usuarios son los alumnos. De tal análisis se concluyó que para el diseño del layout general (esquema de distribución de los elementos dentro de la interfaz) Descartes es más flexible que Geogebra. En cuanto a la exportación a páginas web, Geogebra requiere de varios pasos; mientras que en la otra plataforma el proceso es transparente para el programador porque el editor Descartes genera directamente el archivo html. Además, con miras a la producción futura de materiales didácticos hipermediales, Descartes provee otros dos

recursos: la posibilidad de enlaces a otras páginas web y la reproducción de videos que podrían utilizarse como instrumento motivacional en la introducción de una unidad. Un aspecto a destacar, que también incidió en la elección definitiva de la herramienta de desarrollo, es haber establecido contacto con uno de los diseñadores funcionales de Descartes. El trato directo para el esclarecimiento de dudas e inmediatez en las respuestas a la hora de la capacitación en el uso de la plataforma se ha considerado una ventaja sobre la utilidad de los foros.

3) Desarrollo del SW educativo. Se optó por el modelo de ciclo de vida en cascada debido a la estabilidad de los requisitos, su baja probabilidad de volatilidad, el carácter unipersonal del PFC, el conocimiento del dominio del problema de quien lo llevó adelante por el hecho de ser integrante de la cátedra de AM II en carácter de auxiliar de segunda desde hacía dos años y tener una fluida comunicación con el resto del plantel docente, circunstancia que llevaba al mínimo el riesgo de ambigüedades en las interpretaciones.

La Figura 1 ilustra los requisitos funcionales elicitados en la etapa de Análisis. En la nomenclatura se utilizó el acrónimo de “Caso de Uso” (CU), “Sistema Autónomo” (SA) y “Sistema No Autónomo” (SNA).

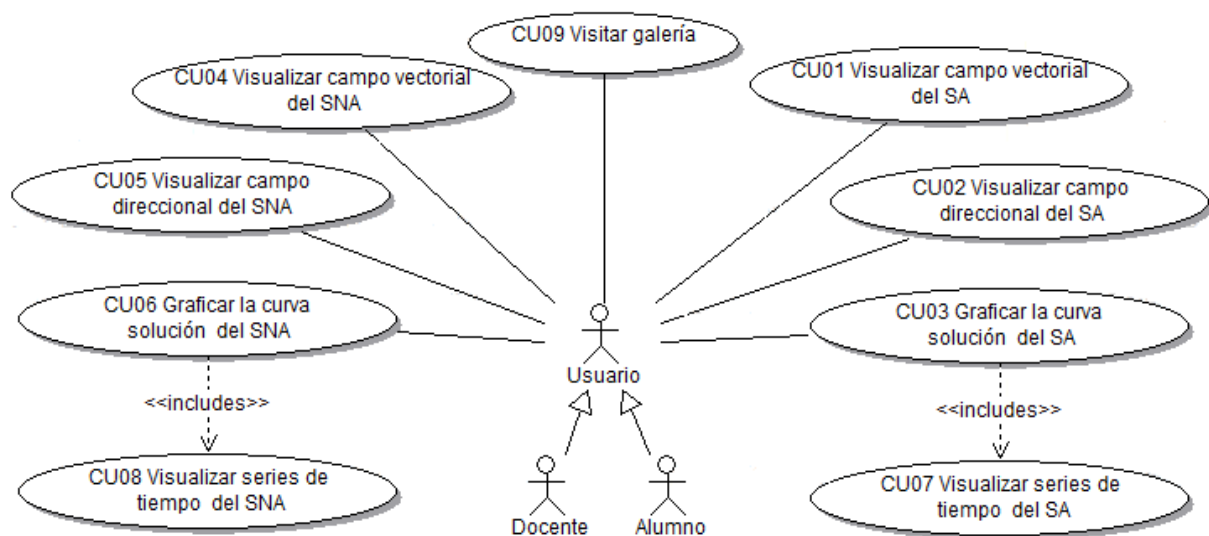


Figura 1. Diagrama de Casos de Uso.

CU01 y CU02: grafican el campo vectorial y el campo de pendientes, respectivamente, asociado a un SA.

CU03 y CU06: muestran la curva plana representativa de la solución del SA y SNA, respectivamente, a partir de las condiciones iniciales y del instante de tiempo que haya ingresado el usuario. CU04 y CU05: grafican el campo vectorial y el campo de pendientes, respectivamente, asociado a un SNA.

CU07 y CU08: grafican las curvas representativas de las variables de estado de un SA y SNA, respectivamente.

CU09: ofrece una biblioteca de ejemplos de SA que contempla los diferentes tipos de equilibrio (estable, asintóticamente estable e inestable) según los autovalores que posea la matriz del sistema. También provee una biblioteca de ejemplos de SNA. Los atributos de calidad incluyen:

Portabilidad: soporta multiplataforma.

Extensibilidad: admite de manera modular futuras funcionalidades.

Disponibilidad: está operacional en el Campus Virtual de la UTN-FRxx.

Usabilidad: atendiendo a la definición de usabilidad del estándar ISO 9241-11:1998 [11], los aspectos que contempla el SW para facilitarle al usuario-alumno una experiencia satisfactoria son: carácter intuitivo, interactividad, ayuda sensible al contexto, interfaz limpia, con mínimo contenido textual y alto contenido icónico. Como resultado de la etapa de Diseño, la Figura 2 muestra la estructura de la aplicación mediante un diagrama de clases. La Figura 3 describe desde un punto de vista dinámico los modos de operación del sistema: “Modo Ejemplo” y “Modo Edición”. El primero aporta todas las funcionalidades sobre un conjunto de ejemplos de sistemas dinámicos definidos por defecto, que el usuario no podrá modificar. El segundo permite al usuario editar las ecuaciones diferenciales del sistema y aporta todas las funcionalidades sobre el mismo.

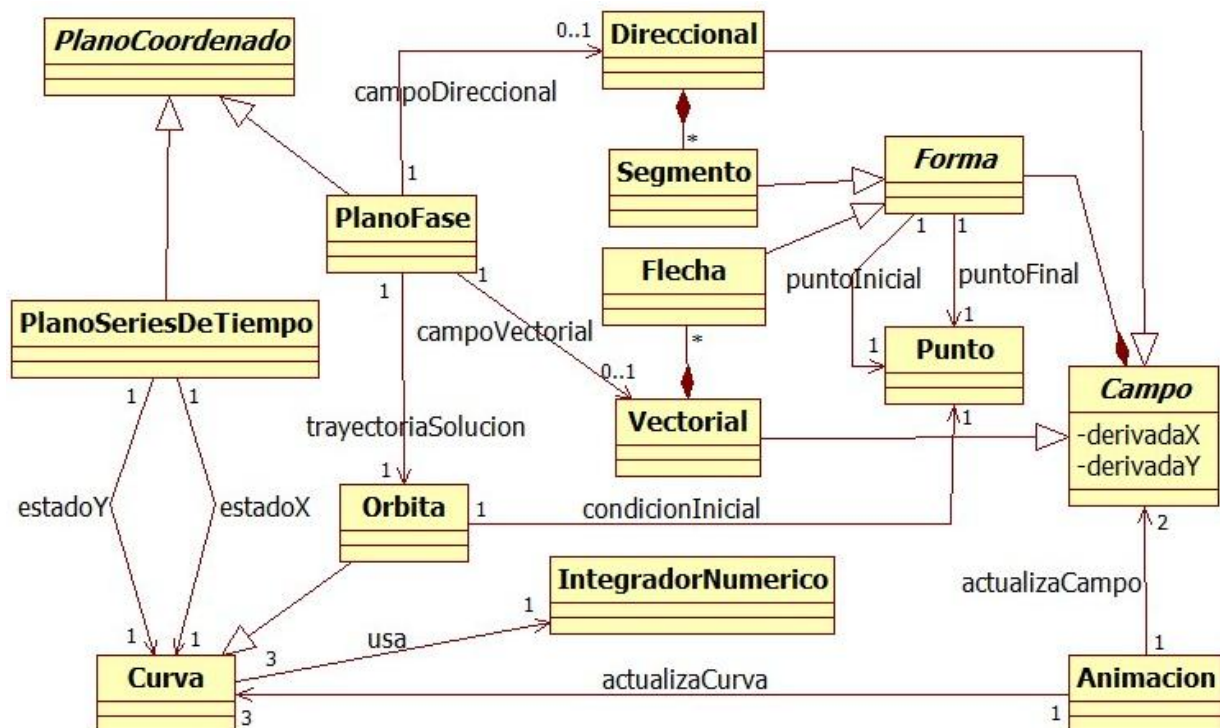


Figura 2. Diagrama de clases.

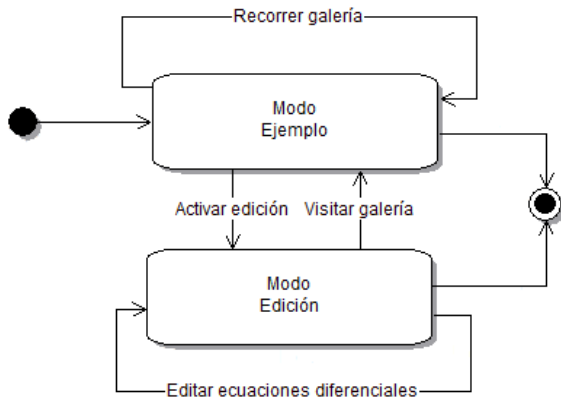


Figura 3. Modos de operación del sistema.

La Figura 4 ilustra el esquema general de la GUI.

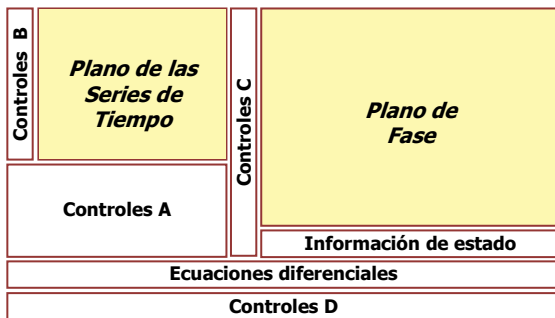


Figura 4. Diseño de la GUI.

Plano de Fase: plano coordinado con la gráfica del campo vectorial/direccional y la trayectoria solución del sistema dinámico.

Plano de las Series de Tiempo: plano coordinado con las gráficas representativas de las variables de estado $x(t)$ e $y(t)$.

Ecuaciones diferenciales: región de edición que contiene dos campos de texto para las ecuaciones diferenciales $x'(t)$ e $y'(t)$.

Controles A: campos numéricos y selectores cuya acción tiene efecto sobre lo que se visualiza tanto en el Plano de las Series de Tiempo como en el Plano de Fase.

Controles B: botones y pulsadores que inciden sobre el Plano de las Series de Tiempo.

Controles C: botones y pulsadores que impactan sobre el Plano de Fase y sobre los modos de operación de la aplicación.

Controles D: están relacionados con las simulaciones (simular, pausar, reiniciar).

Información de estado: región destinada a brindar información de retroalimentación: mensajes de error y de advertencia, modo en el que está operando el sistema, valor actualizado de la variable independiente

durante la ejecución de las simulaciones.

Resultados

Técnicamente, *DaVinci 1.0* es un applet, es decir, está diseñado para ser embebido en una página html y operar en entornos Web. Para su ejecución, debe invocar al intérprete Descartes, que está alojado en el servidor Arquímedes de la Universidad Nacional Autónoma de México. En la Figura 5 puede apreciarse una perspectiva del producto de SW que se socializa en esta contribución.

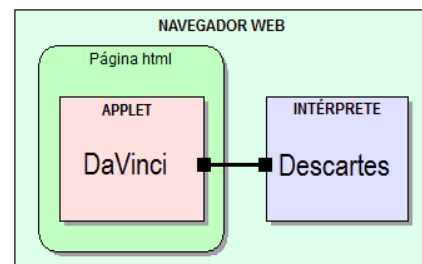


Figura 5. Perspectiva del producto.

A los efectos de representar los elementos arquitectónicamente relevantes, se utilizan distintas vistas de la arquitectura para ofrecer un panorama de la estructura del sistema.

Vista Física. A un alto nivel de abstracción, se consideró conveniente representar el mapeo físico de los componentes de SW con el hardware recurriendo a estereotipos (Figura 6) que simplifiquen la comprensión de esta vista.

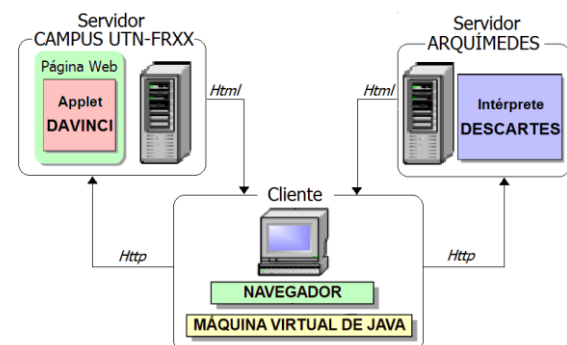


Figura 6. Vista Física de la arquitectura.

Vista de Desarrollo. Se ha optado por seguir el patrón de diseño MVC (Figura 7) porque ya está verdaderamente probado que convierte una aplicación en un paquete modular factible de mantener y mejora la rapidez del desarrollo. Además, la separación de las responsabilidades en modelos, vistas y controladores hace que la

aplicación sea fácil de entender. Las nuevas características se añaden fácilmente y agregar funcionalidades a código ya existente se hace muy sencillo. Por otra parte, el diseño modular incluye la capacidad de construir prototipos rápidos. La separación también permite hacer cambios en una parte de la aplicación sin afectar a las demás.

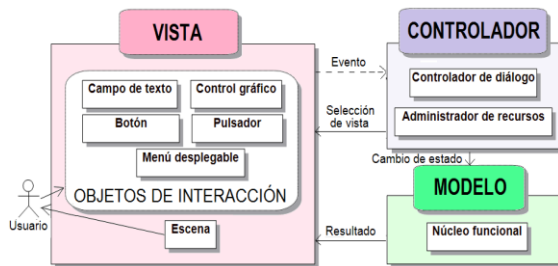


Figura 7. Vista de Desarrollo de la arquitectura.

Los elementos básicos que reúne el sistema, dada la característica altamente interactiva del objeto de aprendizaje, son:

Objetos de interacción: entidades perceptibles y manipulables por el usuario (campos de texto, controles gráficos, botones, pulsadores, menús desplegables).
Escena: presentación visible al usuario de los resultados de sus acciones.

Controlador de diálogo: controla el secuenciamiento lógico de las acciones del usuario. Determina la lógica de la interacción, por ejemplo, cuándo un objeto de interacción es accesible al usuario.

Administrador de recursos: controla los recursos involucrados en la interacción, por ejemplo, ventanas.

Núcleo funcional: implementa el conocimiento del dominio.

Vista Lógica. Al menor nivel de abstracción con el que es posible representar la arquitectura, la Figura 8 exhibe, desde un punto de vista estático, los componentes de SW más importantes que dan soporte a la funcionalidad que *DaVinci 1.0* provee al usuario final. Los que se muestran en rosa son componentes de desarrollo propio, mientras que los construidos por terceros se muestran en azul. A continuación se describe cada uno.

Interfaz de usuario: incluye todos los elementos necesarios para la interacción del usuario como para la presentación de

los resultados obtenidos de los paquetes graficadores.

Graficador de campos: su responsabilidad es graficar el campo vectorial y direccional de un sistema de ecuaciones diferenciales bidimensional, autónomo o no. Usa el componente de SW “Campo Vectorial” y el paquete “Intérprete Descartes”.

Graficador de curvas: es responsable de graficar la trayectoria solución y las curvas representativas de las variables de estado del sistema dinámico, para las condiciones iniciales ingresadas por el usuario, durante el lapso de tiempo que establezca. Usa el componente “Integrador Numérico” y el paquete “Intérprete Descartes”.

Librerías de terceros [12], [13]: incluye los componentes de SW “Campo Vectorial” (grafica campos vectoriales estacionarios) e “Integrador Numérico” (resuelve numéricamente un sistema de EDO bidimensional homogéneo, lineal o no).

Intérprete Descartes [14]: interpreta los objetos cartesianos codificados para que el usuario pueda visualizarlos e interactuar.

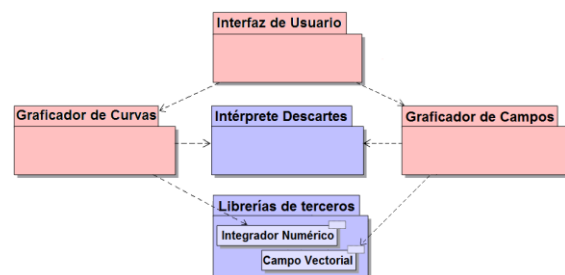


Figura 8. Vista Lógica de la arquitectura.

Discusión

Uso de *DaVinci 1.0* en el aula. Las demostraciones descritas en este apartado pueden ser llevadas a cabo de dos formas, incluso, simultáneamente: el docente utiliza cañón para proyectar la aplicación en la pizarra blanca y/o los alumnos llevan sus notebooks a clase y, reuniéndose en grupos, efectúan ellos mismos sus experimentaciones. Las posibilidades de uso no se agotan en los casos aquí expuestos. Durante el tratamiento de los temas, una amplia y rica variedad de ejemplos irán surgiendo de la espontaneidad del pedagogo y educando sin temor a equivocarse con los ensayos de

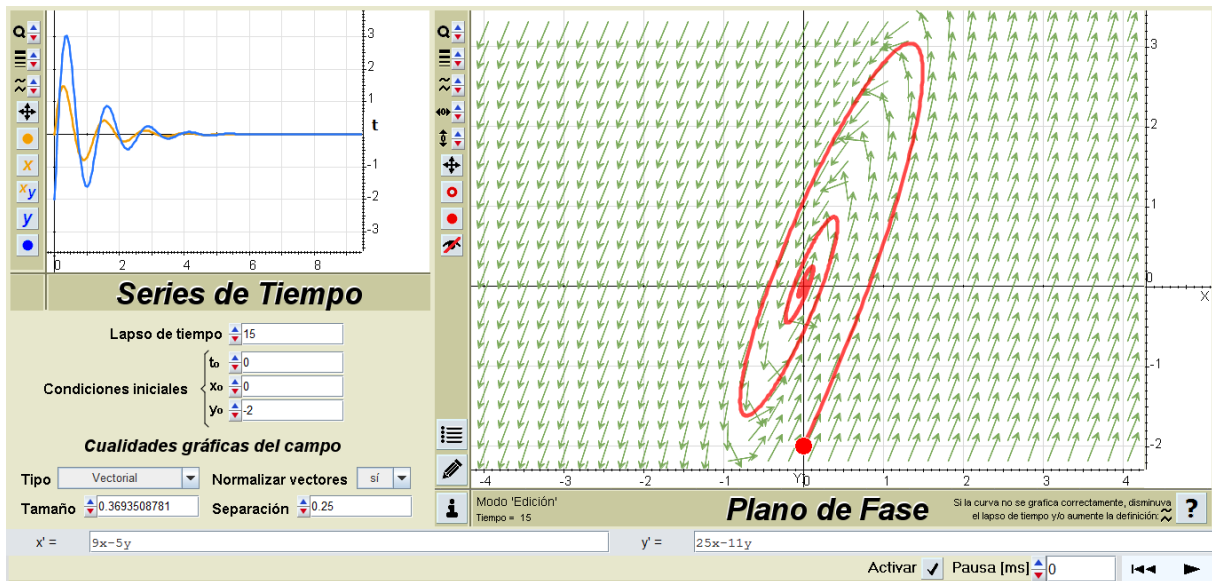


Figura 9. Equilibrio estable.

prueba y error, situación facilitada por el carácter interactivo de *DaVinci 1.0*.

Cuando se desarrolla la teoría cualitativa, el docente puede plantear varios ejercicios para determinar la trayectoria (bajo la interpretación de línea de flujo) que seguirá una partícula que se suelta en el punto $P(x_0, y_0)$ quedando sujeta al campo de velocidad estacionario $\vec{v} = (x', y')$ y pedirle a los alumnos que calculen los autovalores de la matriz del sistema, los relacionen con la forma de la órbita, asocien las gráficas del Plano de las Series de Tiempo con la forma que tienen las ecuaciones de la solución general, caractericen el equilibrio del sistema autónomo y clasifiquen los puntos de equilibrio. Las Figuras 9 y 10 ejemplifican equilibrios estables y asintóticamente estables, respectivamente, de distintos SA.

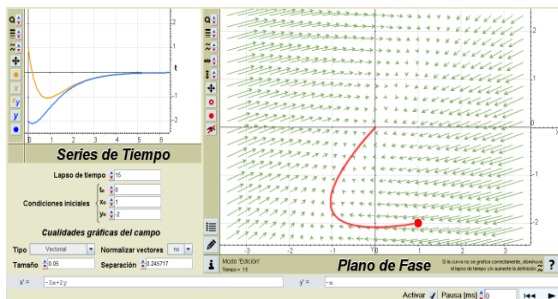


Figura 10. Equilibrio asintóticamente estable.

Con el ejercicio ilustrado en la Figura 11 el alumno puede notar, manipulando con el mouse el punto inicial $P(x_0, y_0)$ de la órbita, que si el equilibrio es inestable, las funciones $x(t)$ e $y(t)$ tenderán a infinito en

valor absoluto (Figuras 12 y 13) y la partícula se alejará del origen (Figura 14).

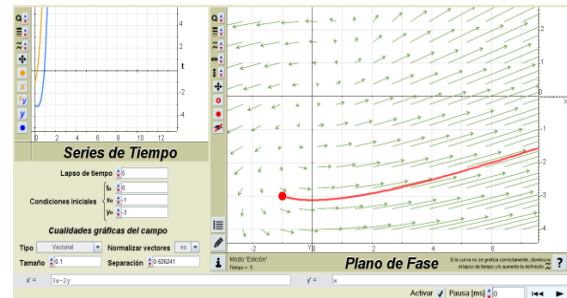


Figura 11. Equilibrio inestable.

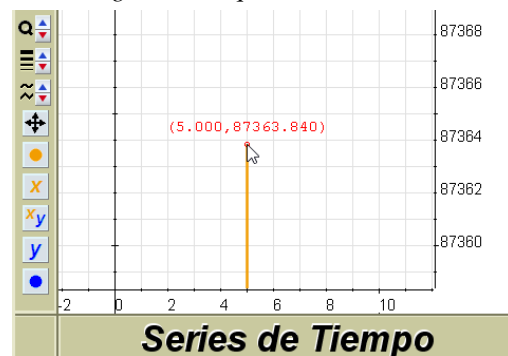


Figura 12. $x(t) \rightarrow \infty$.

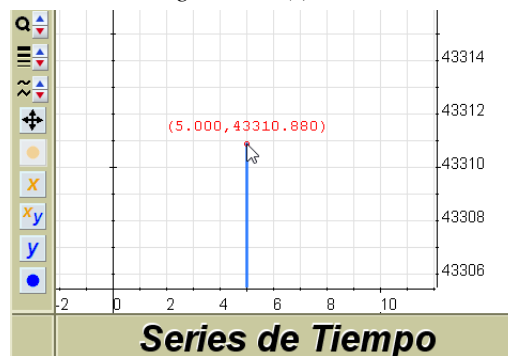


Figura 13. $y(t) \rightarrow \infty$.

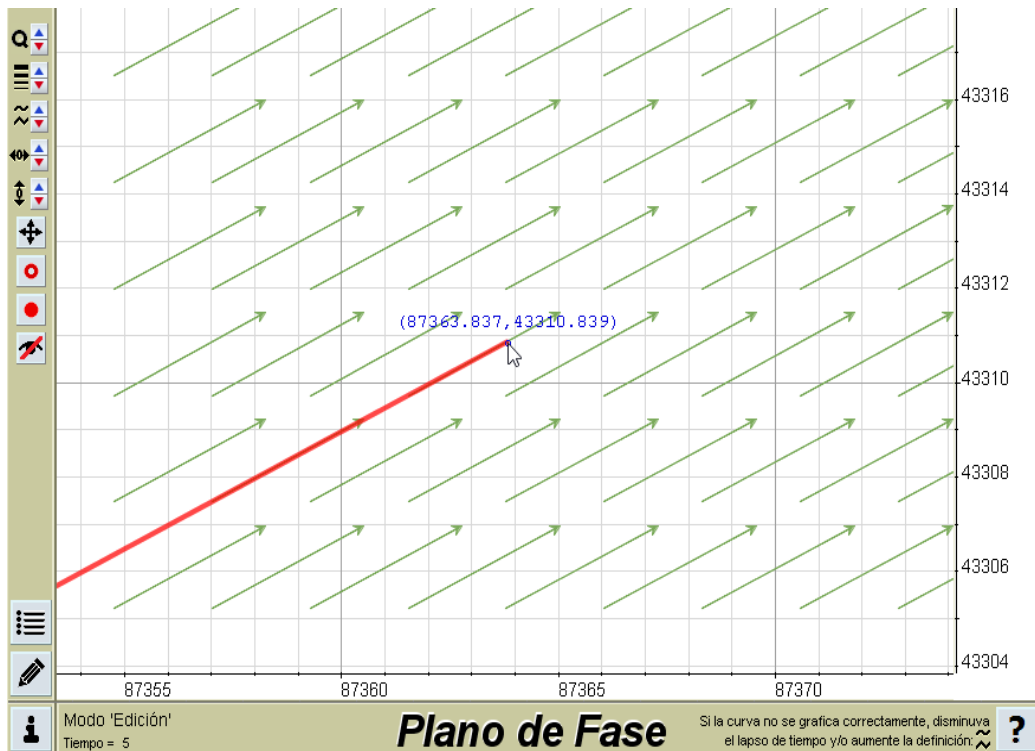


Figura 14. La órbita se aleja del origen en sistemas inestables.

Las simulaciones son fundamentales a la hora de aprehender el concepto de SNA. El alumno puede verificar mediante diferentes animaciones que las órbitas de estos sistemas dependen de t_0 y que el campo vectorial ya no es estacionario, sino que varía con el transcurso del tiempo. Las Figuras 15, 16 y 17 muestran la órbita de un SNA para $t_0 = 0$, $t_0 = 3$ y $t_0 = -2$, respectivamente (el campo no se muestra aquí porque varía dinámicamente).

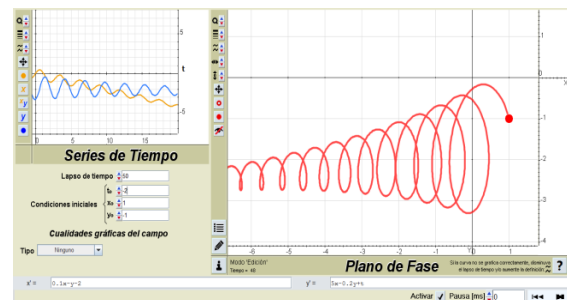


Figura 17. SNA con $t_0 = -2$.

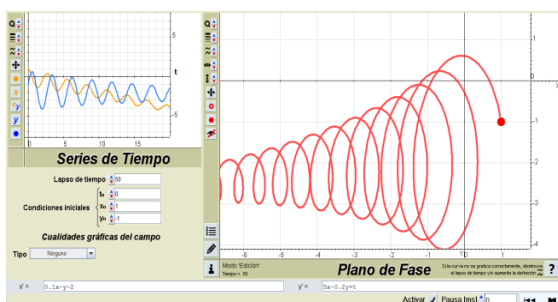


Figura 15. SNA con $t_0 = 0$.

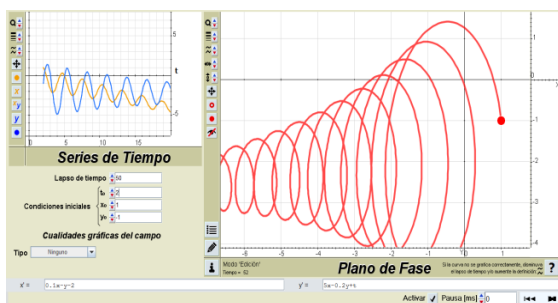


Figura 16. SNA con $t_0 = 3$.

Conclusión

DaVinci 1.0 aporta a la cátedra AM II una herramienta de simulación alineada con el objetivo consignado en su programa sintético dentro del plan de estudio de todas las carreras de Ingeniería [15], [16], [17], [18], [19] de la UTN: “capacitar al estudiante en el uso de herramientas computacionales que permitan la solución de los problemas de análisis, la presentación gráfica asociada a ellos y la simulación de modelos planteados con ecuaciones diferenciales. [...] Se usarán en las prácticas paquetes de computación que permitan cálculos numéricos y simbólicos con capacidad gráfica. En el caso de ecuaciones diferenciales se instruirá al alumno en el uso de un paquete interactivo que permita la

simulación y el análisis de los resultados”. Las expectativas de la cátedra son optimistas: se prevé que este recurso TIC permitirá optimizar el aprovechamiento de los tiempos académicos, mejorará los desempeños de comprensión actuales, e incluso servirá como un instrumento para determinar si los problemas de comprensión habituales son superados. Además, la aplicación ya está disponible en el campus, de modo que los alumnos contarán a partir de la cursada 2015 con una herramienta interactiva a la que pueden acceder de forma gratuita y que les permitirá hacer sus propios ensayos y comprobaciones tanto en sus casas como en el aula, junto al docente.

Respecto del proceso de desarrollo, el diseño de la interfaz implicó el mayor desafío dentro de la etapa de diseño. Se buscó armonía en las proporciones de los elementos que la componen, se pensó cuidadosamente en la distribución de los campos de entrada, botones, colores y diseño de los íconos; de modo que no sólo cuente con un componente estético visualmente agradable, sino que el layout contribuya a una navegabilidad lo más simple e intuitiva posible, máxime teniendo en cuenta que los principales usuarios serán alumnos de segundo año de ingeniería y lo que se pretende es que hagan foco en los aspectos conceptuales de los sistemas dinámicos y no que tengan que sortear escollos al usar un recurso informático cuya finalidad es, justamente, servirles de apoyo al estudio.

Referencias

- [1] Pastorelli, S.: Uso de los sistemas algebraicos de cómputo como recurso didáctico para favorecer la comprensión de los tópicos matriz pseudoinversa y uso de los cuadrados mínimos en el estudio de los sistemas lineales en el ciclo básico universitario. Tesis de maestría en didácticas específicas mención matemática. Facultad de Hds. y Cs. UNL (2007)
- [2] Stone Wiske, M.; Rennebohm Franz, K.; Breit, L.: *Enseñar para la Comprensión con Nuevas Tecnologías*. Buenos Aires: Paidós, pp. 87 (2006)
- [3] NCTM: The use of technology in the learning and teaching of mathematics. <http://www.hpedsb.on.ca/ec/services/cst/elementary/math/documents/nct>

- [m_use_of_technology.pdf](#). (2003). Accedido el 11/08/2015
- [4] NCTM: Technology in Teaching and Learning Mathematics. <http://www.nctm.org/Standards-and-Positions/Position-Statements/Technology-in-Teaching-and-Learning-Mathematics/>. (2011). Accedido el 11/08/2015
- [5] <http://www.ub.edu.ar/catedras/ingenieria/AnalisisIII/ECDIF/ECDIF1/sisauto1.htm>. Accedido el 30/05/2014
- [6] <http://demonstrations.wolfram.com/TwoDimensionalLinearSystems/>. Accedido el 30/05/2014
- [7] Cafferata Ferri, S.; Campillo, A.; Srouf, Y.: La modelización de problemas y su implementación en las clases de matemática. *Actas del XVII EMCI Nacional y IX EMCI Internacional* (2012) ISBN 978-987-27897-9-4.
- [8] Haye, E.; Córdoba, L.: Uso de recursos informáticos en temas de ecuaciones diferenciales. *Actas XVII EMCI Nacional y IX EMCI Internacional* (2012) ISBN 978-987-27897-9-4.
- [9] Cuadros, P.; Millán, Z.; Gil, Y.: Una clase de EDO con uso de nuevas tecnologías. *Actas del XIV EMCI Nacional y VI EMCI Internacional* (2008) ISBN-13: 978-950-42-0091-8.
- [10] Priemer, N.; Lazarte, G.: Campos de pendientes en la solución de ecuaciones diferenciales. *Actas del XIII EMCI Nacional y V EMCI Internacional* (2006) ISBN-13: 978-950-766-050-4.
- [11] [ISO 9241-11:1998](#) “Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) — Part 11: Guidance on usability”. Accedido el 11/08/2015
- [12] <http://arquimedes.matem.unam.mx/Descartes5/macros/g2d/vectores/campVect>. Accedido el 11/08/2015
- [13] <http://arquimedes.matem.unam.mx/Descartes5/macros/g2d/calculos/RungeKutta>. Accedido el 11/08/2015
- [14] <http://arquimedes.matem.unam.mx/Descartes5/distribucion/>. Accedido el 11/08/2015
- [15] <http://csu.rec.utn.edu.ar/docs/php/salida.php3?ti=ORD&numero=1030&anio=0&facultad=CSU>. Accedido el 11/08/2015
- [16] <http://csu.rec.utn.edu.ar/docs/php/salida.php3?ti=ORD&numero=1026&anio=0&facultad=CSU>. Accedido el 11/08/2015
- [17] <http://csu.rec.utn.edu.ar/docs/php/salida.php3?ti=ORD&numero=1114&anio=0&facultad=CSU>. Accedido el 11/08/2015
- [18] <http://csu.rec.utn.edu.ar/docs/php/salida.php3?ti=ORD&numero=1027&anio=0&facultad=CSU>. Accedido el 11/08/2015
- [19] <http://csu.rec.utn.edu.ar/docs/php/salida.php3?ti=ORD&numero=1150&anio=0&facultad=CSU&pagina=1>. Accedido el 11/08/2015

Datos de Contacto: