



PUBLICACIONES INSTITUCIONALES

**25 años
en la Universidad
de La Laguna:**

**una mirada retrospectiva
a los aspectos
docente e investigador**

LORENZO MORENO RUIZ



25 años en la Universidad
de La Laguna:

una mirada retrospectiva a los aspectos
docente e investigador

25 años en la Universidad
de La Laguna:
una mirada retrospectiva a los aspectos
docente e investigador

LECCIÓN INAUGURAL
DEL CURSO ACADÉMICO 2013-2014

pronunciada por el
Dr. Don LORENZO MORENO RUIZ
Catedrático de Ingeniería de Sistemas y Automática

6 de septiembre, 2013

SERVICIO DE PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA, 2013

Colección:
PUBLICACIONES INSTITUCIONALES

Serie:
LECCIONES INAUGURALES/16

Edita:
Servicio de Publicaciones
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA
Campus Central
38200 La Laguna. Santa Cruz de Tenerife
Teléfono: +34 922 319 198

Diseño Editorial:
Jaime H. Vera.
Javier Torres. Cristóbal Ruiz.

1ª Edición 2013
*Prohibida la reproducción total o parcial
de esta obra sin permiso del editor*

Preimpresión:
SERVICIO DE PUBLICACIONES

Excmo. Sr. Presidente del Gobierno de la Comunidad Autónoma de Canarias

Excmo. Sr. Rector Magnífico de la Universidad de La Laguna
Excelentísimas e Ilustrísimas Autoridades
Miembros de la Comunidad Universitaria
Señoras y Señores

Recientemente he cumplido el vigésimo quinto aniversario de mi estancia en la Universidad de La Laguna. Con tal motivo, aprovecharé esta oportunidad para hacer un recorrido por los temas que me han interesado, desde el punto de vista docente e investigador.

Mi ya dilatada experiencia universitaria, después de 40 años como profesor, me ha permitido, tal vez por mi espíritu inquieto, abordar muchos temas de investigación y también docentes. Aunque esto me ha limitado muy posiblemente como investigador, ya que para esta tarea desviarte un ápice de una línea investigadora te hace perder el paso, y no llegar a mayores cotas de profundización; sin embargo, creí oportuno, pensando en el futuro, experimentar en una amplia variedad de temas, con buenos resultados por cierto, además de que ha sido mucho más divertido.

Esto es lo que entendí en su momento, hace 25 años, que era lo más interesante para el grupo de investigación que tenía que crear, cuando me incorporé como Catedrático a esta Universidad de La Laguna, proveniente de la Universidad Autónoma de Barcelona. Cumplidos estos 25 años, es momento de recapitular sobre lo hecho y lo que queda por hacer, tarea que les corresponde a los miembros de este grupo de profesoras y profesores, denominado de Computadoras y Control, con los que he tenido la inmensa suerte de compartir todos estos años.

Esta conferencia voy a centrarla sobre los tres temas principales que han sido la base de mi trabajo durante ese tiempo: la Arquitectura de Computadores, la Automática y la Inteligencia Artificial. Este último tema

nos ha permitido abordar, además, investigaciones multidisciplinares en los campos de la Simulación, la Ingeniería Biomédica y la Educación.

Entrando ya en materia, durante muchos años de mi actividad profesional he trabajado en la disciplina de Arquitectura de Computadores. Esta tarea docente e investigadora me ha permitido trabajar en la Tecnología del Silicio desde sus inicios hasta casi su término.

En efecto, comencé a trabajar en esta tecnología de los circuitos integrados allá por el año 1972 en los laboratorios de la Universidad Complutense de Madrid, donde yo era becario del CSIC. Experimentamos con los circuitos Sylvania y Texas Instruments de baja escala de integración, con muy pocos transistores por chip. Más adelante trabajamos en circuitos con mayor densidad de transistores, conocidos como de media escala, los cuales podían contener, por ejemplo, una unidad aritmético-lógica.

Contribuimos a desarrollar un minicomputador, diseñado a base de estos circuitos y con una memoria principal de memorias de ferritas con un 1 microsegundo de tiempo de acceso.

En la actualidad, estamos llegando a los límites de integración de la tecnología del Silicio. De una parte, el consumo de los más recientes procesadores, como el Intel Core I7 con un reloj de 3.3 GHz que llega a alcanzar los 130 vatios, con lo que se ha llegado al límite de enfriamiento por aire; de otro lado, este mismo procesador integra en torno a 700 millones de transistores fabricados con tecnología de 32 nanómetros. Se ha llegado en 2012 hasta los 22 nanómetros y estamos bordeando el límite de la capacidad de integración, pues nos estamos acercando al tamaño del átomo y comienzan a tener importancia las leyes de la Física Cuántica, donde el comportamiento de los electrones es probabilístico, por lo que la computación digital tradicional está llegando a su fin.

Otras tecnologías, como el Grafeno, han permitido a IBM crear transistores que trabajan a 300 GHz, con lo que esta tecnología puede que sea la que sustituya al silicio. El Grafeno, descubierto en el año 2003, consiste en una lámina de un solo átomo de grosor. Es tan resistente que, en palabras del investigador del Instituto de Ciencias de Materiales del CSIC Francisco Guinea, «un gato podría balancearse en una hamaca de Grafeno que pesaría menos que uno de sus bigotes». Aunque está todavía en proceso de investigación, existirán muchas aplicaciones con este tipo de material, desde nuevos chips más rápidos que el silicio hasta pantallas táctiles y flexibles.

La Arquitectura Neuromórfica y la Computación Cuántica pueden ser alternativas, me temo, aún más alejadas en el futuro.

La Ingeniería Neuromórfica trata del diseño de sistemas artificiales de computación que utilizan propiedades físicas, estructuras o representaciones de la información basadas en el sistema nervioso biológico. Esta ingeniería trata de desarrollar sistemas empotrados para resolver problemas específicos que usualmente implican una tarea sensorial-motora integrada o una tarea de percepción en tiempo real.

El diseño de robots está adquiriendo un interés cada vez más importante. Pero, a pesar de los avances tecnológicos, los robots actuales no son capaces de realizar algunas tareas de procesamiento sencillas similares a las que realiza cualquier mamífero. Así, el aprendizaje continuo en tiempo real sigue constituyendo un problema. Para obtener habilidades de movimiento similares a las de los animales, la información de percepción y acción, de gran número de señales de sensores, motores y señales cognitivas debe ser integrada como un todo. El consorcio multidisciplinar SpikeFORCE, constituido por físicos, expertos en neurociencia, e ingenieros electrónicos e informáticos, investiga los mecanismos de integración de información en el cerebro y su posible implementación en forma de circuitos en robots. El estudio de estructuras basadas en pulsos, como las que forman las neuronas biológicas, puede aportar nuevas ideas en este sentido.

La Computación Cuántica se sumerge en las propiedades de los átomos, donde un computador equivaldría a una máquina de Turing cuántica en la que el alfabeto no serían los bits ordinarios sino los qubits, que son la unidad mínima de información con dos estados propios. El concepto de qubit es abstracto y no lleva asociado un sistema físico concreto. Cualquier estado cuántico de dos niveles se puede utilizar para representar un qubit: iones, espines nucleares, nanoestructuras semiconductoras, etc.

A diferencia de los bits, los qubits no tienen un valor 1 o 0 sino que existen como una mezcla de los dos, adquiriendo un valor definido 1 o 0 cuando se realiza un cálculo, como se explica en el famoso gato de Shrödinger, icono permanente de la Mecánica Cuántica que ilustra mediante esta paradoja macroscópica el famoso principio de superposición, en el que tan solo tomaría un valor al realizar una medición, mientras tanto el gato estaría a la vez vivo y muerto hasta que se abriera la caja.

Se está trabajando en computación cuántica desde hace muchos años, y desde hace varios existe en el Laboratorio de los Álamos un internet cuántico, en el que se procesa en bits ordinarios, mientras que la información viaja en qubits.

Durante muchos años trabajé en la disciplina de Arquitectura de Computadores. He impartido docencia sobre la Arquitectura clásica, mal llamada de Von Neumann, en la que una instrucción no se ejecutaba hasta que no terminaba completamente de ejecutarse la instrucción precedente.

En los años 80 del siglo pasado se empezó a utilizar masivamente la segmentación, una técnica que permitía ejecutar varias instrucciones al mismo tiempo, copiando el modelo de fabricación de coches mediante una cadena de montaje. Esta técnica permitía que, aunque una instrucción tardase varios ciclos de reloj en ejecutarse, la frecuencia en la ejecución de las instrucciones fuese de una instrucción por ciclo. Se pensaba por aquellos años que éste sería el límite de la máxima frecuencia a conseguir.

Como consecuencia de la dinámica de evolución en cuanto a la capacidad de integración¹, y de la enorme competitividad entre las empresas del sector, se comenzó en la década de los 90 a sobrepasar este límite con la aparición de los procesadores superescalares, los cuales permitían ya ejecutar varias instrucciones por ciclo de reloj.

Posteriormente, la colaboración entre las empresas Intel y Hewlett Packard dio lugar a una alternativa diferente a los Procesadores Superescalares que se denominó Computadoras de Instrucciones Explícitamente Paralelas, conocidas en inglés bajo las siglas EPIC.

Con la utilización masiva de la tecnología web, se creó la necesidad de diseñar otro tipo de procesador que contemplara el paralelismo a nivel de hilo, es decir, que trozos de programas se ejecutaran concurrentemente. Esto dio lugar a procesadores que combinaban el paralelismo a nivel de instrucción con el paralelismo a nivel de hilo, lo que dio lugar a las máquinas más evolucionadas en los cinco primeros años del nuevo siglo.

Aproximadamente en 2003, con las posibilidades todavía existentes de aumentar la capacidad de integración, reduciendo el voltaje al que trabajan los transistores, los diseñadores consiguieron integrar varios procesadores en la misma oblea de silicio, dando lugar a lo que se ha

¹ La ley de Moore establecía que el número de transistores en un chip se duplicaba cada 18 meses.

denominado arquitecturas multinúcleo, donde se ha llegado a encapsular cientos de núcleos en las unidades de procesamiento de gráficos.

Ésta ha sido, a grandes rasgos, la evolución de la tecnología del silicio en lo referente a la creación de unidades centrales de procesos (CPU).

Las arquitecturas multiprocesador han sufrido también en estos 25 años un enorme avance, porque los componentes de la arquitectura, tanto procesadores como redes de interconexión, lo han hecho.

En efecto, las redes de interconexión han evolucionado hasta la situación actual en que, tanto para conectar los núcleos dentro de un sistema multinúcleo, como externamente para conectar los procesadores multinúcleo, se utilizan las conexiones punto a punto a través de buses serie.

Si analizamos la lista TOP 500² en el año 1993, y la comparamos con la lista del año 2013, podemos observar que el primer lugar de la lista de 1993 lo ocupaba la máquina Thinking Machine CM-5, con 1.024 procesadores y con un rendimiento de 59,7 Teraflops/seg, mientras que en el año 2013 el primer lugar de la lista lo ocupa un Supercomputador de IBM con 3.120.000 núcleos y un rendimiento de 33.862 Teraflops/seg.

Hasta aquí la disciplina de Arquitectura de Computadores.

El segundo tema que me interesó, y que me llevó a su estudio primero y a su docencia e investigación después, fue la Automática o la Ingeniería del Control.

Empezaremos por definir lo que se entiende por el concepto de Sistema. Booth, en 1967, en su libro *Máquinas Secuenciales y Teoría de Autómatas*, definía Sistema como un mecanismo físico tal que su comportamiento externo podía describirse por un adecuado modelo matemático que identificaba todas las características que condicionaban la operación de dicho mecanismo. El modelo matemático resultante se denominó Sistema.

Según el profesor Aracil, de la Universidad de Sevilla, en su libro *Máquinas, Sistemas y Modelos*, el estudio de los Sistemas realizado de forma sustantiva independientemente de la naturaleza de los elementos que lo componen se articula en torno a una disciplina denominada Teoría de Sistemas, a nivel teórico, e Ingeniería de Sistemas, a nivel práctico.

² Constituida por los 500 Supercomputadores más potentes instalados en el mundo.

El Control Automático o Ingeniería de Control es una disciplina que se focaliza en modelizar matemáticamente una gama diversa de sistemas dinámicos y el diseño de controladores que harán que estos sistemas se comporten de una manera deseada.

El primer trabajo significativo en control automático fue el regulador centrífugo de Watt para el control de velocidad de una máquina de vapor, en el siglo XVIII.

La segunda guerra mundial³ potenció que se desarrollara una gran variedad de métodos de análisis y síntesis en el dominio de la frecuencia. Eran métodos gráficos y aproximados pero de una extraordinaria importancia que aún hoy son plenamente vigentes, y que mediante herramientas informáticas como Matlab nos permiten un trazado gráfico exacto de tales lugares geométricos y diagramas.

Hacia 1960, debido a la disponibilidad de las computadoras digitales⁴, fue posible el análisis en el dominio del tiempo de los sistemas complejos.

La etapa entre 1960 y 1980 fue muy fructífera para el Control, pues se investigaron temas tan importantes como el Control Óptimo y el Control Adaptativo, tanto para sistemas deterministas como estocásticos. A partir de los años 80, se investigaron temas como el Control Robusto y el Control H_∞ , con plena vigencia en la actualidad.

Me gustaría citar aquí nuestra experiencia en investigación en estos temas de control multivariable y que constituyó nuestra modesta aportación a la tecnología del Gran Telescopio de Canarias, conocido como GRANTECAN, actualmente en pleno funcionamiento en el Roque de los Muchachos en la isla de La Palma. A través de un proyecto de colaboración, en el año 1997 comenzamos a trabajar en el Control del espejo primario del telescopio. Este espejo, de 10 metros de diámetro, está segmentado, por su gran tamaño, en 36 piezas hexagonales. El espejo primario es en sí mismo un sistema multivariable de gran escala constituido por 108 actuadores mecánicos, 3 por segmento, que mue-

³ Desgraciadamente el hombre ha utilizado la ciencia y la tecnología para matarse entre sí, cada vez más y mejor.

⁴ Recalco aquí la palabra digital porque para el control también fueron muy importantes en su momento las computadoras analógicas, con las que he trabajado durante muchos años.

ven éstos, 168 sensores que miden la distancia relativa entre segmentos adyacentes, además de la estructura que soporta el espejo.

Todo ello se encuentra sometido a perturbaciones tales como vibraciones mecánicas, viento, simplificaciones en el modelo dinámico, etc. La dinámica fue modelada en el espacio de estados con 708 estados, 108 entradas y 168 salidas. Mediante un cambio de variables de estado se consiguió desacoplar este sistema, enormemente multivariable y fuertemente acoplado, en muchos sistemas de una única entrada y una única salida. A continuación, se diseñó un controlador proporcional integral, comprobando a posteriori el rechazo al ruido.

Más adelante, se diseñó un controlador robusto partiendo de unos requerimientos de rechazo al ruido y robustez, frente al modelo nominal de la planta, con unas holguras que permitieran evitar las inexactitudes del modelo creado. Y ésta fue nuestra pequeña aportación en este magno proyecto de construcción del Gran Telescopio de Canarias.

Hasta aquí nuestra reseña de la Automática.

El tercer tema, la Inteligencia Artificial, ha tenido una importancia capital en nuestras investigaciones y nuestra docencia en asignaturas de Doctorado y Masters, y nos ha permitido abordar y dar solución a problemas planteados en los Campos de la Simulación, la Ingeniería Biomédica y la Educación.

La Inteligencia Artificial tiene dos ramas de conocimiento claramente diferenciadas: la rama Simbólica y el Conexionismo. Esta última rama, el Conexionismo, toma como modelo el cerebro humano, donde el procesamiento de la información se realiza a través de células, denominadas neuronas, conectadas entre sí, y donde el acto de pensar no se realiza en cada neurona sino en la estructura de la red neuronal.

Los pioneros en esta rama de la Inteligencia Artificial fueron McCulloch y Pitts, neurofisiólogo y matemático respectivamente, que iniciaron el estudio en los años 40 del siglo pasado. Ellos crearon unos modelos iniciales de neuronas artificiales.

Rosenblatt introdujo el Perceptrón en 1957, el cual era un modelo de red neuronal compuesto por una salida dada por la suma de múltiples entradas ponderadas, utilizando un modelo de aprendizaje propuesto anteriormente por Hebb. Las limitaciones de este modelo, estudiadas con profundidad por Minsky y Paper en el año 69, provocaron el declive del Conexionismo en los años 70 a favor de la otra rama Simbólica.

Sin embargo, el impulso definitivo al Conexionismo se dio en 1986 con Rumelhart y otros investigadores del grupo conocido como

PDP, los cuales construyeron un algoritmo genérico de entrenamiento de Perceptrones multicapa.

A partir de entonces, las aplicaciones de las redes neuronales estáticas en clasificación en el campo del Reconocimiento de Patrones, y las redes neuronales dinámicas en aplicaciones relacionadas con la identificación de sistemas dinámicos, han sido constantes. Las redes neuronales estáticas las utilizamos en 1996 en la clasificación para la determinación de la maduración cerebral mediante la utilización de señales electroencefalográficas y potenciales evocados.

Antes de comenzar con la rama Simbólica de la Inteligencia Artificial, me gustaría indicar una forma de trabajar que ha sido muy importante para nosotros.

Es conocido que la multidisciplinariedad entre diferentes ramas del saber, integrando teorías y métodos, reconociendo la propia limitación de los conocimientos por separado, permite crear una masa crítica imprescindible para abordar problemas complejos que requieren un estudio integral.

Siempre he creído que algunas veces los universitarios nos comportamos, con respecto a nuestros conocimientos, como compartimentos estancos, y ello nos impide tener acceso a proyectos investigadores más ambiciosos y más competitivos.

Pues bien, en esta línea de multidisciplinariedad hemos intentado movernos, y nos ha dado la posibilidad de trabajar en proyectos muy enriquecedores.

La multidisciplinariedad nos permitió experimentar en una nueva línea de investigación como fue la Simulación, con la que nos implicamos en temas tan complejos como la gestión hospitalaria. Otra línea de investigación multidisciplinar en la que estamos trabajando es la denominada Ingeniería Biomédica. Finalmente, la aplicación de las Nuevas Tecnologías en la Educación es la línea multidisciplinar más reciente que hemos abordado.

En todas las áreas multidisciplinarias mencionadas ha sido aplicada la rama de la Inteligencia Artificial conocida como Simbólica.

La contribución inicial histórica más importante en esta rama de la Inteligencia Artificial fue la de Newell y Simon en la década de los 50, en la que desarrollaron un programa capaz de demostrar teoremas. En estos años surgieron otras experiencias, como la aplicación al juego de ajedrez, la definición del lenguaje LISP, etc. Sin embargo, todos estos programas iniciales de aplicación de técnicas de búsqueda heurística eran

problemas muy acotados y en general tenían un mal comportamiento en problemas reales debido a la explosión combinatoria.

Cabe reseñar aquí la primera tesis doctoral que se leyó en nuestro grupo en 1991, en la que se aplicaron técnicas heurísticas para la reducción de la complejidad computacional espacio/temporal de la Programación Dinámica, tanto en procesos deterministas como estocásticos, y que posteriormente en 1995 se complementó con estrategias basadas en redes neuronales para sistemas continuos no lineales. La Programación Dinámica es una técnica creada por Richard Bellman en 1953, la cual permite obtener las trayectorias óptimas a seguir por un sistema de control desde un punto inicial cualquiera a un punto final, optimizando un índice de costo, y utilizando para ello un método computacional.

Continuando con la evolución histórica de la rama Simbólica de la Inteligencia Artificial, y tras los fracasados primeros intentos debido a su mala generalización a problemas reales, forzaron a los investigadores a cambiar el enfoque inicial por otro basado en el conocimiento. Los representantes de esta nueva tendencia de los años 80 fueron los Sistemas Expertos, los cuales implementaban simples estructuras de conocimiento. Con este enfoque, se abordaron problemas en los que se hizo necesario emplear razonamiento impreciso o probabilístico, por lo que se desarrollaron extensiones a la lógica clásica.

Un ejemplo de Sistema Basado en el Conocimiento lo constituye la metodología creada por nosotros en 1999 para la ayuda a la toma de decisiones en la gestión hospitalaria.

La metodología utilizada nos permite obtener una representación estructurada del conocimiento en 4 fases. La toma de decisiones en la primera fase monitoriza el estado del sistema detectando los valores erróneos de las variables implicadas en el comportamiento de la organización. La segunda fase diagnóstica, identificando los posibles problemas. La tercera fase predice las posibles soluciones a los problemas detectados. Esta tarea se realiza a través de un programa de simulación donde se modela la dinámica del hospital, en nuestro caso el HUNSC (Hospital Universitario Nuestra Señora de La Candelaria). La cuarta fase consiste en el diseño de una solución en el espacio de las posibles soluciones, donde las ramas en este árbol de búsquedas son podadas a través de la aplicación de funciones heurísticas.

La cooperación entre la Simulación y la Inteligencia Artificial nos ha dado respuesta en la toma de decisiones para la gestión de un sistema complejo como es un hospital, compuesto de varias unidades especializa-

das y donde los pacientes se distribuyen en los diferentes departamentos de acuerdo a su patología.

Los autómatas borrosos para el análisis de señales con contenido simbólico han constituido la herramienta elegida para emular el comportamiento de un experto neurofisiólogo, el cual es capaz de analizar el estado de un paciente examinando conjuntamente la forma de todos los canales del electroencefalograma. Este trabajo se realizó en 2001, en colaboración con investigadores del Hospital Universitario Nuestra Señora de La Candelaria.

Por otra parte, los algoritmos genéticos como métodos evolutivos de búsqueda se aplicaron en 2003 al reconocimiento de patrones en imágenes de citologías médicas. Los sistemas de diagnóstico basados en el análisis de imágenes digitales pueden permitir un diagnóstico aproximado sin necesidades invasivas. La citología es uno de estos métodos. El objetivo fue clasificar correctamente núcleos de células sanas y núcleos de células patológicas en imágenes digitalizadas de citologías. Un equipo de investigadores del HUC (Hospital Universitario de Canarias) nos cedió las imágenes y nos proporcionó asesoramiento y ayuda en la clasificación.

Como ya hemos indicado anteriormente, un capítulo aparte en la multidisciplinariedad lo constituye la implicación de nuestro grupo en temas relacionados con la Educación. Parece obvia esta implicación, dado que por estar en una Universidad estamos realizando, además de una labor investigadora, una labor docente.

Pero además, nuestra Universidad es una Universidad Pública y eso nos compromete aún más con la Sociedad que nos rodea, por lo que estamos obligados a realizar también una labor de tipo social como parte de nuestro trabajo universitario. En este sentido, estoy muy involucrado con el mundo de la discapacidad.

Soy padre de un chico con síndrome de Down, y aunque desde hace muchos años estoy involucrado con el mundo de la discapacidad, exactamente 33 años, que es la edad de mi hijo en la actualidad, ha sido en los últimos años cuando me he decidido a poner mis conocimientos al servicio de este colectivo.

Hemos dedicado una parte de nuestra investigación aportando nuestro grano de arena a la aplicación de las nuevas tecnologías a la Educación, con especial dedicación al mundo de la discapacidad, trabajando de forma multidisciplinar con el área de conocimiento de Didáctica de las Matemáticas de la Universidad de La Laguna, con investigadores de

la Facultad de Matemáticas de la Universidad Luterana de Brasil y con la Asociación Down Tenerife (Asociación Tinerfeña de Trisómicos 21).

Las TIC se constituyen como un instrumento importante en la educación, posibilitando al profesor la creación de situaciones de aprendizaje donde el alumno pueda pensar, crear, comunicar e intervenir, siendo sujeto activo en este proceso. Dentro de este contexto, el uso de las TIC en el medio escolar de enseñanza primaria y secundaria se torna en un importante instrumento de apoyo, que debe ser utilizado por el educador en el desarrollo de un proceso de enseñanza-aprendizaje, siendo también un recurso que puede ser utilizado para la recuperación de contenidos con los alumnos que presenten dificultades.

Hay estudiantes que requieren una ayuda permanente y también otros que sólo presentan dificultades temporales de aprendizaje. Entre los primeros nos encontramos con los niños y niñas con Síndrome de Down. En el año 2000 dimos los primeros pasos que se centraron en la realización de un interface multimedia, en el que los contenidos educacionales se adaptaban a las características individuales y a las preferencias de los chicos. La interacción con los estudiantes era realizada a través de diferentes tipos de actividades: motivación, explicación del profesor, evaluación y refuerzo. Una importante fuente de estímulo fue la inclusión de agentes animados, lo que ha sido una constante en todas las herramientas informáticas realizadas posteriormente.

En las situaciones en las que los chicos presentan dificultades temporales, un proyecto interesante fue el denominado SICOLE, que fue realizado en el año 2002 conjuntamente por profesores de la Facultad de Psicología de nuestra Universidad, para el diagnóstico y tratamiento de la Dislexia. En este caso, se diseñó una herramienta informática consistente inicialmente en un proceso de evaluación, donde se clasificaba al estudiante en uno de los tres tipos de categorías existentes. A través de la presentación de palabras y pseudo-palabras en pantalla, el estudiante tenía que pronunciarlas, y mediante técnicas de procesamiento de voz se calculaba un conjunto de parámetros. Una vez identificado el tipo de Dislexia, se comenzaba un proceso de evaluación para determinar las deficiencias que eran la causa del bajo rendimiento en la lectura. El siguiente paso consistía en el módulo de tratamiento, en el que se presentaban una serie de ejercicios mediante atractivos juegos multimedia.

La declaración del año 2000 como año de las Matemáticas trajo la reflexión de cómo poner al alcance de todo el alumnado, incluidos los

alumnos discapacitados, las Matemáticas que se necesitan para formar futuros ciudadanos del nuevo milenio.

En los diferentes niveles de nuestro sistema educativo obligatorio, aparecen las Matemáticas en la formación del alumnado con discapacidades como una forma de conocimiento que les permita acceder al entorno, al desarrollo del razonamiento lógico, a la maduración personal y la integración en el mundo sociocultural.

Son muchas las ventajas que se han descrito sobre la utilización del ordenador con este grupo de personas. Un software matemático para niños y jóvenes con Síndrome de Down debe tener en cuenta las características cognitivas de éstos, aprovechando los puntos fuertes de su perfil de aprendizaje. Por ello, debe contener actividades relacionadas con experiencias de su entorno, que a su vez sean motivantes o cercanas a ellos; debe tener en cuenta sus deficiencias léxicas, ya que estos alumnos suelen tener dificultades para captar los diferentes significados de las cosas e incorporarlos a sus expresiones; debe poseer un amplio número de actividades, porque tienden a refugiarse en conductas repetitivas y automatismos de conducta que les proporcionan confianza.

Nuestro objetivo fue la creación de un Tutorial Inteligente elaborado inicialmente como herramienta para el refuerzo de los primeros conceptos numéricos y la operación suma para alumnos con Síndrome de Down.

La ventaja principal de un Sistema Tutorial Inteligente frente a los Tutoriales tradicionales es su carácter más flexible, tanto en el tratamiento del dominio de enseñanza como en el de adaptación al alumno, y ello es posible por la aplicación de la Inteligencia Artificial.

Los Tutoriales Inteligentes están formados fundamentalmente por cuatro módulos: un módulo de dominio del conocimiento que se quiere enseñar, un modelo del estudiante al que va dirigido, un módulo tutor o planificador instruccional y un módulo interfaz de comunicación con el alumno.

El planificador instruccional determina las estrategias de enseñanza, de manera que el sistema pueda adaptar y adecuar estas estrategias a cada alumno. Entre los diferentes métodos utilizados para el diseño de planificadores están las redes bayesianas y los sistemas borrosos. En ambos métodos de razonamiento aproximado hemos trabajado con intensidad.

El primer Tutorial Inteligente, creado utilizando lógica borrosa en el planificador instruccional, fue concebido como ayuda al aprendizaje del concepto de número y las operaciones aritméticas de suma.

El proceso de aprendizaje se dividió en 4 fases: la lógica, con 4 objetivos a trabajar en paralelo: Clasificación, relación de orden, co-

correspondencia término a término y cuantificadores. La segunda fase la constituye el concepto de número y la suma con números de un dígito; también, como la fase anterior, trabajando varios objetivos en paralelo: Contar y Reconocimiento del número, Cardinalidad y Ordinalidad. La fase tres, que la constituye el concepto de número y la suma con números de dos dígitos, tiene los objetivos: concepto de decena, contar y reconocer el número, orden y problemas. Finalmente, la cuarta fase está constituida por la suma llevando, con números de dos dígitos, con el objetivo fundamental de la resolución de problemas.

El paso de una fase a otra, bien hacia delante, cuando hay progreso, como hacia atrás, cuando hay regresión, se ha modelizado mediante un sistema borroso que tiene como entradas, para una fase concreta, el porcentaje de acierto de un conjunto de acciones anteriores y la evolución del alumno, que se corresponde con la salida del sistema borroso que se realimenta a la entrada.

El Tutorial diseñado incorporaba como aspectos motivacionales los agentes pedagógicos, escogidos en función de la edad cognitiva y la madurativa del alumno, y la personalidad, distinguiendo entre tres tipos diferentes de alumnos.

La primera versión del tutorial se terminó en 2005, y ha ido adaptándose a los cambios necesarios producidos por el paso del tiempo y a la evolución de la tecnología, pasando de ser una aplicación de escritorio a una aplicación web multiplataforma en la actualidad; asimismo, se han ido adaptando los diferentes ejercicios a las necesidades educativas de los chicos con síndrome de Down.

En 2006, se creó un Sistema Automático de errores en operaciones aritméticas, utilizando técnicas de Minería de datos, para la generación de ayudas adaptadas para este colectivo de síndrome de Down.

Nuestra incursión en el ámbito educativo no se ha restringido al mundo de la discapacidad y a la enseñanza primaria, sino que también la hemos extendido al ámbito universitario.

En la enseñanza universitaria, el Espacio Europeo de Educación Superior ha supuesto un gran reto a la comunidad universitaria española, y ha exigido al profesorado universitario revisar su forma de impartir docencia, introduciendo nuevas e innovadoras metodologías docentes. La metodología de enseñanza semi-presencial es el enfoque que se está aplicando con más éxito, ya que permite el aprendizaje colaborativo, mejora la participación activa y la flexibilidad de dedicación de los alumnos a las materias de aprendizaje en función de sus necesidades.

El aprendizaje realizado por nosotros en estos últimos años en el dominio educativo nos ha permitido crear, en el ámbito universitario, una metodología basada en el constructivismo y el aprendizaje colaborativo. Esta metodología combina procedimientos teóricos y prácticos basados en una línea de investigación que en las siglas en inglés se denomina CSCL y que en español significa «aprendizaje colaborativo apoyado por computador». Esta metodología fue inicialmente planteada en 2007 y utilizada en la asignatura de Arquitectura de Computadores de la Ingeniería Informática, y estaba basada en dos herramientas informáticas: Moodle y un simulador para arquitecturas paralelas a nivel de instrucción, aunque su planteamiento es válido para cualquier asignatura de Ciencias y Tecnología. Moodle es un sistema de gestión de cursos que ayuda a los profesores a crear comunidades de aprendizaje on-line, mientras que un simulador es una herramienta que es una abstracción simplificada de la realidad, y que facilita al alumno la comprensión de un problema complejo.

El Constructivismo propone dar más importancia a los contextos de aprendizaje como alternativa a la memorización, de modo que el conocimiento sea una auténtica construcción operada por la persona que aprende, permitiendo realizar actividades más próximas al mundo real. Además, en el aprendizaje colaborativo los estudiantes trabajan en grupo ayudándose unos a otros, reforzando la componente social de la educación.

Para completar las herramientas necesarias en la metodología educativa actual que proponemos, hemos diseñado en 2009 una herramienta informática, denominada SIENA, cuyas siglas significan Sistema Integrado de Enseñanza Aprendizaje, que facilita el aprendizaje autónomo y la autoevaluación. Esta herramienta SIENA utiliza los mapas conceptuales y los tests adaptativos basados en redes bayesianas. Además, en este año 2013 hemos añadido a la herramienta la opción de realizar tests on-line síncronos, incorporando un chat, lo que posibilita el trabajo colaborativo entre miembros de un mismo grupo, objetivando, a través de los mensajes, la información que dispone el profesor sobre el conocimiento de los alumnos en un tema concreto.

Un mapa conceptual es una técnica utilizada para la representación gráfica del conocimiento, el cual consiste en una red de nodos conectados por enlaces. En la red, los nodos representan los conceptos y los enlaces los relacionan. En nuestro caso, los nodos son los temas de una asignatura mientras que la relación es exclusivamente de conocimiento.

Si los nodos están relacionados a través de un enlace, ello indica que para poder acceder al nodo siguiente previamente se tienen que conocer los contenidos del nodo del que se proviene.

El test adaptativo incorporado a la herramienta SIENA está basado en una red bayesiana. Entre los nodos del mapa conceptual y las preguntas de elecciones múltiples a realizar en el test existe una relación de tipo bayesiano.

En un nodo dado, y para una pregunta seleccionada, se estima el conocimiento a posteriori del alumno mediante la fórmula de Bayes, que es muy conocida en Estadística para las probabilidades condicionales. La estimación se realiza según unos parámetros, como son la probabilidad de acertar la pregunta supuesto que se conoce el concepto, la probabilidad de acertar la pregunta supuesto que no se conoce el concepto y partiendo de un conocimiento a priori antes de contestar la pregunta. Mediante esta fórmula y a través de varias preguntas, de diferente dificultad, el estimador puede llegar a precisar con exactitud el grado de conocimiento del alumno.

La ventaja de un test adaptativo es que el sistema se acomoda al conocimiento que tiene el alumno, ya que la siguiente pregunta se elige entre las restantes preguntas no utilizadas, satisfaciendo una función de éxito, de acuerdo con la respuesta verdadera o falsa que se haya dado a la pregunta anterior.

En la asignatura de Arquitectura de Computadores que imparto desde hace muchos años, su mapa conceptual consta de 15 nodos. En colaboración con los alumnos de 5º curso, alumnos ya con una madurez importante, y durante tres años académicos, hemos elaborado conjuntamente para los temas de la asignatura un total de 1.500 preguntas, clasificadas en tres grados de dificultad.

Con las herramientas mencionadas, Moodle, SIENA y un simulador para trabajar con los procesadores con paralelismo a nivel de instrucción, objeto final de la asignatura, estamos en condiciones de detallar la metodología propuesta. Ésta consta de varias fases. Una fase de preparación, constituida por las clases teóricas y de problemas, creación de equipos de trabajo, presentación del simulador y estructuración del esquema de trabajo en la plataforma Moodle. La segunda fase es la correspondiente a la experimentación. En ella utilizamos el simulador en la resolución de problemas. Utilizamos la plataforma Moodle creando foros y wikis donde se plantean los comentarios individuales, grupales e intergrupales, y se suben a los wikis los trabajos realizados. La tercera

fase es la de presentación y demostración, en la que los alumnos realizan las presentaciones orales individuales, así como los trabajos hechos en grupos y las colaboraciones intergrupales. Finalmente, la cuarta fase es la evaluadora, donde el profesor analiza los tests realizados en SIENA en cada uno de los temas de la asignatura, analiza igualmente los registros almacenados en Moodle, se evalúan las presentaciones tanto orales como escritas, así como las tutorías académicas.

Con esto, ponemos punto final a esta exposición retrospectiva.

A modo de conclusión, diría que tras 25 años de una intensa dedicación es buen momento para hacer balance. Sin duda, durante estos años habré cometido muchos errores, pues aunque se haya acertado con una investigación en un momento determinado, se comienza otra partiendo de cero.

Sin embargo, me considero lo suficientemente satisfecho como para decir que si volviera a empezar haría casi lo mismo. He tenido durante estos años la libertad y responsabilidad de participar en la selección de los profesores del grupo de Computadoras y Control. Tengo que decir que en esta selección nos ha movido siempre y de modo exclusivo la calidad.

Las materias que hemos impartido y los temas de investigación que hemos abordado en el grupo de Computadoras y Control, durante estos años, se enmarcan directamente en la Arquitectura de Computadores, el Control, la Robótica, la Simulación, la Ingeniería Biomédica y, finalmente, la Educación.

La Inteligencia Artificial, en sus dos vertientes Conexionista y Simbólica, ha sido una herramienta básica para nosotros, tanto en la identificación y la generación de estrategias de control, la clasificación en el reconocimiento de patrones, la simulación y el razonamiento aproximado.

Siempre hemos creído en la multidisciplinariedad como una forma de abordar problemas complejos que requieren de la colaboración de diferentes tipos de conocimiento para su resolución, con ejemplos significativos como la Ingeniería Biomédica, la Simulación y la Educación.

Estoy seguro de que el futuro de las investigaciones del grupo de Computadoras y Control estará plagado de éxitos, si lo permite esta profunda crisis que amenaza con destruirlo todo, aunque confío en que no vaya a durar eternamente.

He dado durante estos años lo mejor de mí mismo, y he recibido de esta Universidad y de Tenerife tantas cosas a nivel familiar y profesional,

tantas cosas que agradecer..., que si tuviera que resumir me quedaría con dos fundamentales: los dos maravillosos nietos canarios que tengo, y a nivel profesional, la libertad, que he tenido sin cortapisas de ningún tipo, para realizar mi trabajo.

Actualmente en la Universidad se ha cambiado de paradigma. El escritor dominicano, afincado en Estados Unidos, Junot Díaz, profesor de Escritura Creativa en la Universidad de Siracusa y en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, en una entrevista reciente afirmaba que «La Universidad como Institución ha dejado atrás los valores de la Educación para sustituirlos por un modelo de negocios».

A pesar de que la crisis actual trata de ensuciar y mercantilizarlo todo, esperemos que la componente educativa y social de la Universidad sean referencias básicas que nunca se pierdan, independientemente de que una educación para emprender sea también una labor que tenemos que abordar sin demora.

Nada más, muchas gracias por la atención que me han dispensado.



ULL | Universidad de La Laguna