

¿Sistemas inteligentes, realidad o fantasía? ¿Qué hay detrás de los programas que se dice son inteligentes?

Mauricio Paletta¹

Resumen

En los últimos años se ha venido utilizando el término de inteligencia para describir algunos programas o elementos de software que han mostrado cierto tipo de comportamiento para la solución de problemas específicos haciendo uso de computadoras. Algunas veces, el calificativo de inteligencia es mal utilizado para describir a ciertos programas, la mayoría de los casos por no tener claridad sobre la correcta relación de estos dos conceptos. En este artículo se hace una síntesis descriptiva de la relación entre programa e inteligencia a fin de tener claridad sobre el por qué de los llamados "programas inteligentes". El artículo también contiene una breve descripción de las técnicas inteligentes de resolución de problemas más utilizadas actualmente, así como también los tipos de problemas que son idóneos de resolver con estas técnicas.

Palabras claves: inteligencia, técnicas de resolución de problemas, problemas complejos.

I. INTRODUCCIÓN

Software inteligente, sistemas inteligentes e inteligencia artificial son algunas de las maneras de identificar todos aquellos programas de computación que muestran algún tipo de comportamiento "inteligente". Pero, ¿qué hay detrás de estos programas? ¿Es correcto referirse a ellos con el término de inteligencia?

¹ Facultad de Ingeniería. Escuela de Informática. mpaletta@ucab.edu.ve

Este artículo pretende dar respuesta a las preguntas antes descritas así como también a otras posibles preguntas que se puedan hacer sobre el tema que envuelve a la "computación inteligente". El artículo hace, además, un paseo por diversas metodologías o técnicas de solución basadas en el "manejo de inteligencia" y se muestran algunos tipos de problemas que se pueden resolver con esta clase de programas.

Para llevar a cabo este objetivo, el artículo está dividido en cuatro secciones.

Además de esta introducción, la sección II contiene el grueso del desarrollo del artículo que incluye una breve explicación de la definición de inteligencia, una presentación no detallada de las principales técnicas de solución de problemas que existen actualmente y una lista de posibles problemas que se pueden resolver con las técnicas presentadas.

Finalmente, se incluyen las conclusiones y referencias citadas en el documento.

II. SISTEMAS INTELIGENTES

1. Inteligencia

Antes de empezar a hablar de sistemas inteligentes, es importante tener claro el concepto de inteligencia. En este sentido, una definición interesante es la dada por Fogel en [2] en la cual indica que la inteligencia es la capacidad que tiene un sistema de adaptar su comportamiento, de tal manera de alcanzar sus objetivos en ambientes dinámicos o cambiantes. Por otro lado, Stenberg y compañía [32] definen inteligencia como la capacidad de asimilar, guardar, elaborar información y utilizarla para resolver problemas. Estos autores también afirman que este tipo de comportamiento también puede ser visto en los animales e incluso las computadoras e indican, además, que la función principal de la inteligencia no es sólo conocer, sino dirigir el comportamiento para resolver problemas de la vida cotidiana con eficacia. En ambas definiciones se aprecia el uso de la inteligencia para alterar el comportamiento adecuadamente.

Según Paletta [26], la inteligencia es la habilidad para manejar el conocimiento que se dispone (posiblemente incompleto), para tomar una decisión (buena o mala) para la rápida solución de un problema. Aunque esta definición puede ser considerada más simple que las anteriores, involucra el uso de las palabras claves conocimiento y decisión, las cuales permiten entender el paso de tratar de emular el concepto de inteligencia de manera artificial, es decir, mediante el uso de máquinas, principalmente computadoras.

En este mismo orden de ideas, el conocimiento es uno de los cuatro tipos posibles de información que puede haber (textos, imágenes y datos son los otros tres).

Automatizar el conocimiento implica la implementación de mecanismos o esquemas que permitan su representación y almacenamiento.

Por otro lado, el proceso de decisión está asociado a la búsqueda de una solución en función de lo que se sabe hasta ahora, factor que está justamente asociado al conocimiento existente. A este proceso también se le suele llamar razonamiento.

En resumen, hacer artificial la inteligencia para modelar técnicas que puedan ser usadas para resolver problemas específicos, implica los siguientes tres factores:

1. Capacidad de almacenar conocimiento haciendo uso de un formato de representación específico.
2. Contar con un algoritmo que permita hacer búsqueda sobre ese conocimiento.
3. Esta relación entre representación de conocimiento y algoritmo de búsqueda, debe ser eficiente (rápido) y eficaz (bueno).

Con esto se quiere decir que, si se tiene que cuestionar la existencia o no de programas inteligentes, basta con determinar la posibilidad de tener programas que cumplan con los factores antes identificados. La respuesta es sí; desde hace ya varios años existe una variedad de formatos para la representación

del conocimiento, así como también algoritmos de búsqueda asociados a estos formatos. Como ejemplo se puede citar el lenguaje de programación PROLOG (Colmerauer & Roussel, 1972), que utiliza lógica de predicados de primer orden para representación del conocimiento y un algoritmo de razonamiento llamado "backtracking". En este sentido, todos los programas escritos en este lenguaje, no sólo representan conocimiento sino también tienen un algoritmo para hacer búsqueda sobre él. A los programas escritos en PROLOG se les puede calificar, entonces, como "programas inteligentes".

La necesidad de desarrollar sistemas inteligentes se ha incrementado en los últimos años debido a que el conocimiento se ha convertido en un recurso estratégico para ayudar en la resolución de problemas complejos [2], [8], [14] y [25]. La figura 1 muestra la relación entre los elementos presentes en los sistemas inteligentes indicando, a la izquierda, la forma que tiene el conocimiento como entrada del proceso y el nivel organizacional, a la derecha, en la cual está compuesto este conocimiento.

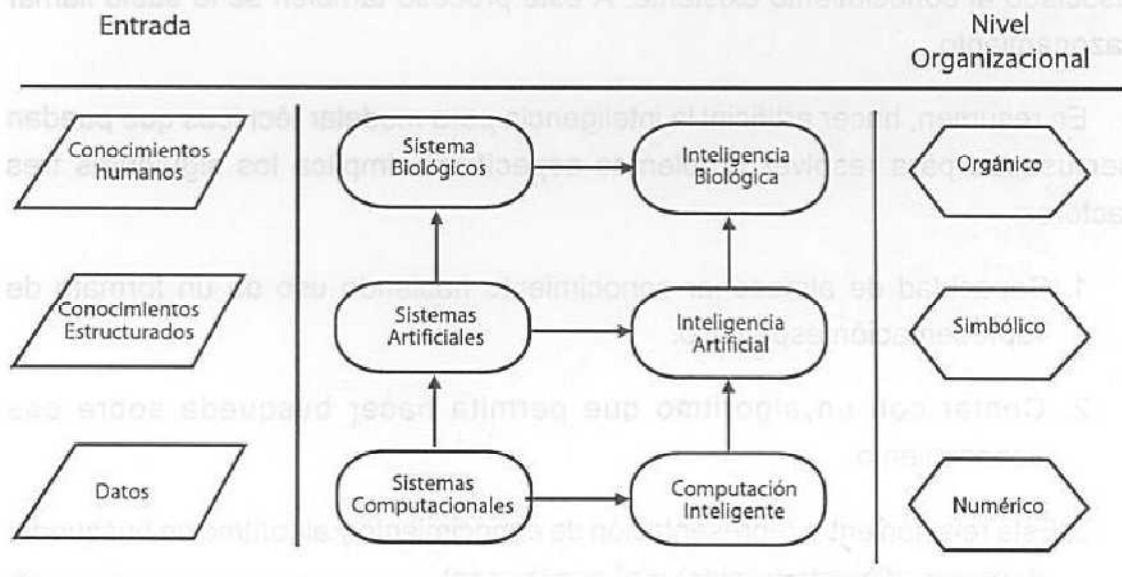


Figura 1. Relación entre los elementos de los sistemas inteligentes [2].

Una vez aclarado en esta sección que la inteligencia puede ser llevada a entornos artificiales mediante el uso de computadoras, la siguiente sección

presenta un breve estudio de lo que este paso de la realidad natural a la realidad artificial significa.

2. TÉCNICAS INTELIGENTES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

En la sección anterior se indica que sí es posible tener programas con las características necesarias para ser llamados "inteligentes". Ahora bien, ¿cómo se pueden escribir estos programas? ¿Qué hay detrás de ellos?

En realidad lo correcto no es hablar de programas inteligentes sino de técnicas inteligentes de resolución de problemas. El manejo del conocimiento y los algoritmos de búsqueda están asociados a estas técnicas o paradigmas y no a los programas que hacen uso de las técnicas para resolver algún problema específico. Es por ello que el mérito de llamarse inteligentes no debe ser dado al programa sino a la técnica de resolución.

Pero, ¿qué ha inspirado a la definición de estas técnicas? La respuesta es más simple de lo que pudiera imaginarse: si se quiere hacer una técnica inteligente, por qué no ir a la fuente natural de la inteligencia, es decir, a la naturaleza misma. Y, ¿de dónde proviene la principal fuente de inteligencia de la naturaleza? Pues del hombre. Esta es la razón del porqué las primeras técnicas inteligentes de resolución de problemas, tales como los antiguamente llamados Sistemas Expertos y las Redes Neuronales (también conocidas como Redes Neurales Artificiales, Sistemas Conexionistas, etc.) están inspiradas en procesos propios de la inteligencia humana y enmarcadas en una ciencia que tiene ya más de 20 años llamada Inteligencia Artificial.

La Inteligencia Artificial tiene como objetivo desarrollar máquinas que puedan realizar tareas tan bien como los humanos, o incluso mejor, dándoles un comportamiento inteligente a dichas máquinas. En general, los objetivos que busca la Inteligencia Artificial son el desarrollo de sistemas que puedan llevar a cabo actividades complejas como las realizadas por el hombre [3].

Pero no sólo del hombre es posible identificar comportamientos inteligentes. La forma como las hormigas son capaces de trazar rutas óptimas o algunas aves vuelan en conjunto para cooperar entre sí para la búsqueda de alimento, o

la manera como las plantas trazan caminos idóneos para buscar la luz solar, o la forma como es posible optimizar un proceso basado en el enfriamiento inteligente de metales, son sólo algunos ejemplos. Muchos observadores de la naturaleza, principalmente físicos, han definido otra serie de técnicas exitosas basadas en comportamientos inteligentes no humanos.

Más adelante en esta sección se presentarán brevemente algunas, de ellas.

Si bien se han definido técnicas de resolución de problema inspiradas en procesos propios de la naturaleza, no necesariamente humano, estas técnicas no son reconocidas por la Inteligencia Artificial, ya que rompen, con su definición dura de estrictamente emular procesos inteligentes derivados del hombre. Por esta razón se dice que la Inteligencia Artificial es un enfoque duro.

A pesar de que estas metodologías se han originado de manera independiente, principalmente en centros de investigación interdisciplinarios, los esfuerzos para agrupar todas estas técnicas dentro de un marco formal común han conducido al nacimiento de la disciplina que actualmente lleva el nombre de Computación Emergente. Esta denominación tiene su origen en el Centro de Estudios No-lineales del Laboratorio Nacional de Los Alamos en USA [6]. Dado que no hay restricciones sobre la fuente de inteligencia que inspira la definición de la técnica, la Computación Emergente representa el enfoque blando de esta corriente científica.

Un aspecto interesante de mencionar sobre estas corrientes de Inteligencia Artificial y Computación Emergente es que son ciencias abiertas en el sentido de que se siguen definiendo técnicas de solución características de estos paradigmas, ya sea por variaciones en las existentes o por la observación de otros fenómenos inteligentes que ocurren en la naturaleza. Algunas de las técnicas más comúnmente utilizadas en la actualidad son las siguientes:

- Autómatas celulares.
- Redes neuronales.
- Programación evolutiva.
- Recocido simulado.
- Colonias de hormigas.

- Teoría de fractales.
- Agentes inteligentes.
- Vida artificial.

Descrito de una forma simple, los Autómatas Celulares [13] consisten en un reticulado dimensional con un autómata de estados finitos residente en cada celda o sitio del reticulado. La regla de transición, característica de cada uno de los autómatas, involucra los estados de los autómatas en los sitios vecinos. La dinámica ocurre sincrónicamente (todos al mismo tiempo) en todos los nodos de la red y cada celda cambia su estado en función a una regla local que depende de los estados de los autómatas ubicados en los nodos vecinos.

Un aspecto importante de los Autómatas Celulares es que al tomar valores discretos, la dinámica es siempre exacta ya que no hay errores de redondeo o aproximación (computadoras diferentes siempre producen la misma dinámica). Esta es una característica importante para las simulaciones. Otro factor importante a mencionar es que los Autómatas Celulares pueden considerarse como sistemas de procesamiento de información en los cuales la evolución dinámica implica la ejecución de un cómputo sobre la secuencia de valores iniciales y por ello se conjetura que estos dispositivos son capaces de realizar computabilidad universal, es decir, cualquier problema pudiera formularse y simularse mediante esta metodología de resolución. En síntesis, los Autómatas Celulares son modelos matemáticos útiles en sistemas en los cuales muchos componentes simples actúan conjuntamente produciendo patrones complicados de comportamiento.

Por otro lado, las Redes Neuronales [11], [24] y [29] son estructuras cognitivas de procesamiento de información basadas en modelos de las funciones cerebrales. Consiste en un sistema dinámico altamente paralelo con la topología de un grafo dirigido que ejecuta el procesamiento de la información en términos de su respuesta o reacción a una entrada o estímulo externo (continuo o discreto), estructurando así un arreglo de unidades de procesamiento (neuronas) interconectadas entre sí y, en el cual, cada una de estas unidades puede tener múltiples entradas pero sólo una salida; las entradas o vienen del exterior o son copias de las señales de salida de otras unidades.

En otro orden de ideas, la Programación Evolutiva [10], [12], [17], [19] y [22] enfoca el proceso de resolución a través de una dinámica evolutiva emulando la selección de los más aptos y la reproducción de las especies. Consiste en un proceso estocástico de cómputo iterativo ejecutado sobre una población de estructuras que representan las soluciones potenciales de un problema; en cada ciclo del proceso (generación) se evalúan las estructuras en la población actual en cuanto a su efectividad como soluciones del problema. Basado en esta evaluación, se implementa una estrategia reproductiva que genera una nueva población en la cual se le da más importancia a las mejores estructuras previas y el proceso termina cuando se alcanzan soluciones satisfactorias.

Siguiendo con la breve descripción de las técnicas antes enumeradas, el algoritmo de Recocido Simulado constituye una poderosa metodología de búsqueda ampliamente utilizada, que se basa en la analogía que existe entre la minimización de una función de costo en un problema de optimización y la minimización de la energía en un sistema termodinámico mediante una lenta pero progresiva disminución de la temperatura. Este algoritmo fue introducido inicialmente por Kirpatrick y colaboradores [15] en 1982 basándose en un trabajo previo de Metropolis y colaboradores [21] en el cual se presenta un algoritmo para la simulación eficiente de la evolución de un sólido al equilibrio termodinámico [4], [16].

Otro algoritmo que tiene que ver con problemas de optimización es el referido a las Colonias de Hormigas [1], [5], [7] y [20]. El hecho biológico es que insectos de los llamados "primitivos" continuamente se enfrentan con una variedad de problemas complejos en ecosistemas o ambientes dinámicos y su capacidad de supervivencia viene determinada por la efectividad que posean en la resolución de tales inconvenientes. La respuesta biológica a esta situación la establece la "evolución natural" por medio de la cual las especies evolucionan metodologías diversas con el fin de copar satisfactoriamente con los problemas del ambiente cambiante. En este sentido, uno de los casos naturales mejor estudiados es el de las colonias de hormigas. En ellas se exhiben comportamientos colectivos sumamente interesantes y altamente estructurados, aun cuando una hormiga individual sólo posee capacidades muy simples.

Con los algoritmos de hormigas se persigue aprovechar estos procesos de resolución de problemas definiendo mecanismos de búsqueda relativos a la formación de rastros que dejan las hormigas durante la búsqueda de alimento. Uno de los aspectos más importantes en este contexto es elucidar cómo, un animal casi ciego, logra establecer rutas cortas (casi óptimas) desde su nido a la fuente de alimento.

Con respecto a los fractales, éstos fueron concebidos aproximadamente en 1890 por el francés Henri Poincaré. Sus ideas fueron extendidas más tarde fundamentalmente por dos matemáticos también franceses, Gastón Julia y Pierre Fatou, hacia 1918. Desde un punto de vista matemático, el fractal es una figura geométrica compleja y detallada en estructura a cualquier nivel de magnificación. Los fractales poseen la propiedad de que cada pequeña porción de ellos puede ser visualizada como una réplica del todo a escala reducida. Es interesante cómo, a través del conocimiento dado por las transformaciones contractivas que definen un fractal, es posible resolver problemas tan complejos como la compresión de imágenes [9].

En otro orden de ideas, y relacionado con el tema de los Agentes Inteligentes, Minsky en [23] utiliza la palabra agente para referirse a una máquina que realiza algo, sin que sea necesario saber cómo trabaja; el autor también afirma que se usa el término de agente cuando se le quiere tratar como una "caja negra". En [33] Wooldridge y Jennings indican que es interesante remarcar que una de las formas de definir Inteligencia Artificial es diciendo que es un subcampo de las ciencias de la computación que busca construir agentes que exhiban un "comportamiento inteligente". Estos autores expresan además que los agentes son una noción central en Inteligencia Artificial.

Siguiendo este mismo orden de ideas, la mayor parte de las veces la gente de Inteligencia Artificial utiliza el término agente para referirse a una entidad que funciona continua y autónomamente en un ambiente en el cual ocurren otros procesos y existen otros agentes [31]. En resumen, una de las definiciones de agente más aceptadas es la dada por Russell y Norving en [30] en la cual se describe a un agente como cualquier cosa que pueda percibir información de su ambiente a través de sensores y tomar acciones sobre él mismo a través

de actuadores. El agente llega a ser "inteligente" en la medida que pueda ser autónomo para la decisión sobre las acciones a tomar.

Para finalizar esta breve descripción de las técnicas de resolución de problemas inteligentes, Vida Artificial es el término usado para agrupar todas aquellas implementaciones de sistemas computacionales que hacen uso de las leyes que rigen y dieron origen a los seres vivos. Según Langton [18], la Vida Artificial se suele definir como la ciencia que trata de situar la vida "tal como es" dentro del contexto de la vida "tal como podría ser". Contraria al área clásica de Inteligencia Artificial que considera que la inteligencia procede de una manipulación eficiente de símbolos, la Vida Artificial se concentra en el comportamiento, la autonomía y, sobre todo, la problemática de la vitalidad de los seres vivientes.

Una vez realizado este compendio de las técnicas inteligentes de solución de problemas más comúnmente utilizadas actualmente, la siguiente sección presenta una breve descripción de algunos tipos de problemas que pueden ser abordados con estas metodologías de solución.

3. TIPOS DE PROBLEMAS

No existe una característica común asociada a los problemas que pueden ser resueltos con técnicas inteligentes pero, para que tenga mayor relevancia el uso de una técnica con características de inteligencia, es interesante la selección de problemas con alto grado de complejidad o, mejor aún, aquellos que son considerados como los que tienen el más alto grado de complejidad, los llamados problemas NP (de sus siglas en inglés *Non-Deterministic Polynomial-time*) [28].

Los problemas polinómicos no deterministas son aquellos que pueden ser resueltos en tiempo polinómico por una máquina de Turing no determinista. En este tipo de problemas se pueden identificar algunas de las siguientes características:

- Al usar métodos tradicionales de programación, el tiempo requerido para hallar una buena solución no es aceptable.
- Sus límites no están claramente definidos.
- Es relativamente único o sin precedentes.

- Sus parámetros son inestables y/o impredecibles.
- No existe un conjunto de alternativas de solución relacionadas entre sí.
- Envuelve varios puntos de vistas conflictivos.
- Pueden tener más de una solución óptima.
- Pueden no tener un punto de parada claro.

En este mismo orden de ideas, cierto tipo de problemas que presentan alguna de las características antes enumeradas y que suelen ser abordados con las metodologías inteligentes, se pueden categorizar de la siguiente manera:

- Simulación de procesos.
- Control de procesos.
- Optimización combinatoria.
- Reconocimiento de patrones.
- Predicción.

Los problemas relacionados con la simulación de procesos permiten observar y analizar la forma en la cual un proceso se comporta basado en un conjunto de reglas y/o modelo y, algunas veces, lo que ha ocurrido en el pasado. En este tipo de problemas, el conocimiento viene dado por tres elementos: 1) las reglas que rigen el proceso, 2) el modelo que describe el modelo y 3) la experiencia.

La propagación de enfermedades, incendios, etc., el modelado de ecosistemas, el crecimiento de cristales y otros fenómenos físicos como el comportamiento de gases y la transferencia de calor en metales, las reacciones químicas y los modelos sociológicos, son todos ejemplos de problemas de este tipo.

Varias son las técnicas, algunas de ellas citadas en la sección anterior, que se pueden utilizar para la resolución de este tipo de problemas. Entre ellas se tienen: los autómatas celulares, los sistemas inmunes artificiales, vida artificial, los agentes inteligentes, los ecosistemas artificiales y la teoría de fractales.

En lo que respecta a los problemas de control, éstos se caracterizan por requerir de la toma de decisiones que permitan originar la ejecución de una acción sobre

ciertos elementos del proceso basado en el estado actual del sistema. En este tipo de problemas, el conocimiento se encuentra en la asociación entre el estado actual del sistema y la actuación que se requiere para mantener el sistema bajo control. La mayoría de las veces esta información se consigue por experiencia.

Algunos ejemplos que se pueden citar sobre este tipo de problemas son: control en procesos industriales (plantas, fábricas, etc.), control de procesos químicos, control de procesos hidráulicos, etc.

Con respecto a las técnicas inteligentes más adecuadas para abordar esta problemática, desde hace ya varios años las redes neuronales han ejercido un papel muy importante sobre la automatización de controladores. A estos sistemas se les ha llegado a llamar incluso sistemas de control neuronal o neurocontroladores. Otra técnica muy comúnmente utilizada es la lógica difusa o borrosa [34] y [35]. Por otro lado, también se han realizado muchos trabajos de automatización del control de procesos haciendo uso de agentes inteligentes, sobre todo en el control de robots.

Siguiendo este mismo orden de ideas, los problemas de optimización combinatoria tienen que ver con la búsqueda de la mejor solución (óptimo) dentro de una gran cantidad de posibilidades que derivan de la combinación de varios parámetros. Uno de los problemas más conocidos y más complejos de esta índole es el conocido TSP (de sus siglas en inglés *Traveling Salesman Problem*). En este tipo de problemas el conocimiento se obtiene de las reglas del proceso a optimizar, incluyendo las restricciones. Otros ejemplos conocidos de esta clase de problemas lo representan la planificación de tareas, la búsqueda de mínimos y máximos en funciones, la optimización en el uso de recursos, el problema de coloreamiento de grafos y el problema del empaquetamiento de la mochila.

Son varias las técnicas inteligentes que pueden ser usadas para resolver problemas de optimización combinatoria ya que las características del proceso de búsqueda sobre una base de conocimiento asociadas a las técnicas está muy presente en estos problemas. En este sentido se pueden mencionar: la programación evolutiva o algoritmos genéticos, el recocido simulado, el algoritmo de colonias de hormigas, el método de máxima entropía e inteligencia de enjambres.

Un cuarto tipo de problema identificado anteriormente está referido al reconocimiento de patrones. En este caso, el objetivo es identificar o reconocer un patrón con base en un estímulo de entrada dado que puede o no tener cierto nivel de ruido. Para estos problemas, el conocimiento viene dado por las asociaciones entre el estímulo y el patrón o clase a la cual pertenece el estímulo y las reglas utilizadas para manejar el ruido.

Hay muchos ejemplos cotidianos de reconocimiento de patrones que se pueden citar, siendo OCR (de sus siglas en inglés *Optical Character Recognition*) una de las más conocidas. Otros ejemplos son: el reconocimiento de voz, la traducción automática, la interfaz de lenguaje natural, las técnicas biométricas de reconocimiento (huellas dactilares, iris o retina de los ojos, cara, etc.), la clasificación de datos (base para los algoritmos de minería de datos) y el procesamiento de imágenes (detección de bordes, identificación de objetos, visión artificial, etc.).

La técnica inteligente más comúnmente utilizada para abordar problemas de reconocimiento de patrones son las redes neuronales. Los autómatas celulares y agentes inteligentes también se han utilizado para ello.

Por último y, quizás el tipo de problemas más complejo que se conoce hasta ahora, tiene que ver con la predicción. ¿A quién no le gustaría predecir la lotería, la bolsa de valores, terremotos, desastres climáticos, etc.? Los problemas de predicción consisten en determinar lo que puede ocurrir en el futuro sabiendo lo que ha ocurrido en el pasado en sistemas de comportamiento caótico (no hay reglas claras). El único conocimiento que se tiene es la experiencia. Las técnicas adecuadas para abordar la complejidad de estos problemas conociendo sólo lo que ha ocurrido en el pasado son las redes neuronales y los agentes inteligentes.

En relación a los problemas de predicción y con el objetivo de tener una idea de la eficacia con la cual las técnicas inteligentes pueden abordar este tipo de problemas, la figura 2 muestra los resultados obtenidos luego de estimar la serie caótica generada por el mapa logístico (May R. y Feigenbaum M. 1976) haciendo uso de una red neuronal del tipo RBF (de sus siglas en inglés *Radial Based Functions*). En la parte izquierda de la figura se observa la relación valor deseado vs. valor predicho que, al querer que sean iguales, la curva deseada debe ser

una recta con pendiente de 45 grados. La parte derecha de la figura muestra la dispersión de los puntos indicando el nivel de casticidad o desorden en la serie.

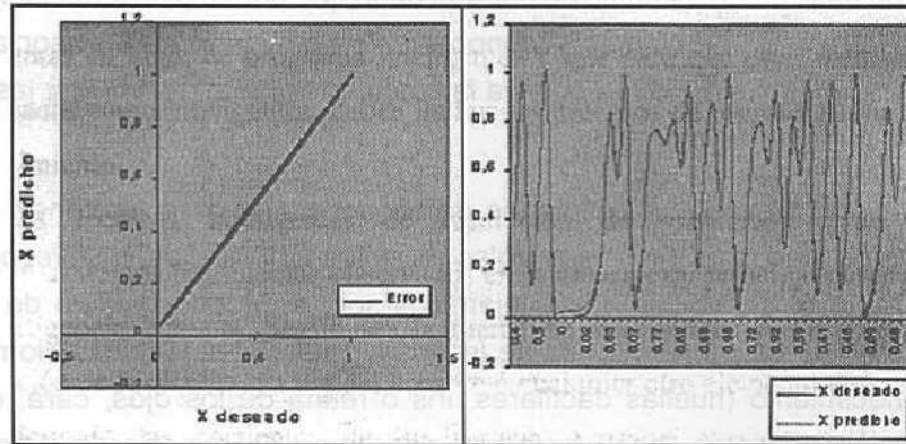


Figura 2. Resultados de un proceso de predicción del mapa logístico haciendo uso de una red neuronal del tipo RBF.

4. SOLUCIONES HÍBRIDAS

Algo que está ocurriendo en los últimos años, y que es interesante resaltar, es la posibilidad de combinar dos o más técnicas inteligentes para resolver más adecuadamente problemas de gran complejidad. Las debilidades de una técnica son abordadas por los beneficios de otra de manera tal de, en conjunto, constituir una técnica inteligente híbrida que dé mejores resultados.

Un ejemplo de este fenómeno se observa en [27] en la cual los autores combinaron las técnicas de Autómatas Celulares y Programación Evolutiva para resolver un problema relativo a la reconstrucción de imágenes. En este caso particular, los autores desarrollaron un programa evolutivo para obtener la configuración adecuada de un autómata celular, que lidie con el problema de reconstrucción de imágenes en blanco y negro.

En ocasiones, esta combinación de técnicas puede dar lugar a la identificación expresa de una nueva técnica como, por ejemplo, en el caso anterior, la técnica conocida como Autómatas Celulares Evolutivos.

III. Conclusiones

En este artículo se analizó la interrogante asociada a la manera correcta de usar el término de "programa inteligente". Para ello se hizo alusión al concepto de inteligencia y los procesos de representación de conocimiento y algoritmo de búsqueda necesarios para poder emular este concepto haciendo uso de una computadora.

Se hizo mención de que es más correcto hablar de técnica inteligente de resolución de problemas en lugar de programa inteligente. Y que para que estas técnicas puedan ser calificadas como inteligentes, deben incluir los procesos de representación y manejo del conocimiento.

Las técnicas inteligentes de resolución de problemas están basadas en comportamientos inteligentes observados en la naturaleza, principalmente derivados de la inteligencia humana. Según sea la fuente de inteligencia que originó o motivó la definición de la técnica, ya sea del hombre o cualquier otro elemento de la naturaleza, se han definido las corrientes de Inteligencia Artificial y Computación Emergente respectivamente.

No todas las técnicas inteligentes son adecuadas para cualquier tipo de problema.

Hay que saber cuál usar y cómo usarla. En ocasiones la combinación de técnicas puede ser de gran ayuda.

No es recomendable resolver problemas complejos con métodos tradicionales si se puede hacer con una técnica inteligente. También hay que estar consciente de que las técnicas inteligentes no son la solución a todo tipo de problemas.

IV. Referencias

1. Acosta, F. J., López, F., y Serrano, J. M. (1992). "Branching Angles of Ant Trunk Trails as an Optimization Cue". *Journal of Theoretical Biology*. 160, 297.
2. Berhart, R., Simpson P. y Dobbins R. (1996). *Computational Intelligence: PC Tools*. AP Professional Academic Press.
3. Castro, J. A. y Echeverría, F. R. (2001). *Introducción a las Técnicas de Computación Inteligente*. Universidad de Los Andes.
4. Chandler, D. (1987). *Introduction to Modern Statistical Mechanics*. Oxford University Press.
5. Colorni, A., Dorigo, M. y Maniezzo, V. (1991). *Distributed Optimization by Ant Colonies*. In Proc. European Conference on Artificial Life, Paris.
6. Crutchfield, J. P. y Mitchell M. (1994). *The Evolution of Emergent Computation*. SFI Technical Report 94-03-012.
7. Deneubourg, J. L., Beckers, R. y Goss, S. (1992). "Trails and u-turns in the selection of a path by the ant *Lasius Niger*". *Journal of Theoretical Biology* 159, 397.
8. Ferber, J. (1995). *Les Systèmes Multi-Agents vers Intelligence Collective*. Inter Editions.
9. Fisher, Y. (1995). *Fractal Image Compression: Theory and Application*. Springer Verlag.
10. Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley.
11. Hertz, J., Krogh, A. y Palmer, R. G. (1991). *Introduction to the theory of Neural Computation*. Addison-Wesley.
12. Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. The MIT Press.
13. Hopcroft, J. E. y Ullman, J. D. (1979). *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*. Addison-Wesley.
14. Khosla, R. y Dillon, T. (1997). *Engineering Intelligent Hybrid Multi-Agent Systems*. Kluwer Academic Publishers.

15. Kirpatrick, S., Gelatt, C. D. Jr. y Vecchi, M. P. (1982). *Optimization by Simulated Annealing*. IBM Research Report RC 9355.
16. Kittel, C. (1969). *Thermal Physics*. John Wiley & Sons.
17. Koza, J. (1992). *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. The MIT Press.
18. Langton, C. (1995). *Artificial Life*. The MIT Press.
19. Lawrence, D. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold Company.
20. Leerink, L. R., Schultz, S. R. y Jabri, A. (1993). *A Reinforcement Learning Exploration Strategy based an Ant Foraging Mechanisms*. Technical Report Department of Electrical Engineering The University of Sydney.
21. Metropolis, N., Rosenbluth, M., Rosenbluth, A., Teller, A. y Teller, E. (1953). *Equation of State Calculations by Fast Computing Machines*. J. Chem. Phys 21, 1087.
22. Michalewicz, Z. (1998). *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer-Verlag.
23. Minsky, M. (1988). *The Society of Mind*. Simon & Schuster.
24. Muller, B. y Reinhardt, J. (1991). *Neural Networks An Introduction*. Springer-Verlag.
25. Nilsson, N. (1998). *Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann Publisher INC.
26. Paletta, M. (1997), *Inteligencia Artificial Básica*. Fondo Editorial UNEG.
27. Paletta, M. y Moreno, J. A. (2000). Evolutionary Cellular Automata for Image Restoration. IBERAMIA-SBIA 2000, Open Discussion Track, pp. 304-313.
28. Papadimitriou, C. (1994). *Computational Complexity*. Addison-Wesley.
29. Ritter, H., Martinetz T. y Schulten K. (1992). *Neural Networks: An Introduction to the Neural Information Process of Self-Organized Networks*. Addison-Wesley.
30. Russell, S. y Norving, P. (1995). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice-Hall.
31. Shoham, Y. (1993). *Agent oriented programming*. Artificial Intelligence, 60: 51-92.

32. Stenberg, R. y Detterman, D., K. (1988). *¿Qué es la inteligencia?* Madrid. Pirámide.
33. Wooldridge, M. J., y Jennings, N. R. (1995). *Intelligent agents: Theory and practice*. Knowledge Engineering Review 10 (2).
34. Yager, R. y Zadeh, L. (1992). *An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems*. Kluwer Academic Publishers.
35. Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353.