

## **Acerca de la INTELIGENCIA...de los SISTEMAS INTELIGENTES**

Raimundo O. D'Aquila  
Académico de Número

### **Abstract**

This paper tries to arrive at an estimation of the intelligence level, at present and in the near future, of the different paradigms of the Artificial Intelligent Systems. This goal is based on the main features that an Intelligent System must have, so that they can be differentiated from other artificial systems such as, for instance, the automatic systems.

The work has two parts; the first one involves general concepts, relevant antecedents, and the critical concepts of intelligence and Intelligent System, in order to be able to arrive at an Intelligent System definition, which is suitable for the goal of this work. The second part is fully devoted to try to answer the challenging question of the title, oriented to intelligent softbots. Since the kind of intelligence of the Artificial Intelligent Systems is that is called analytical or rational, both, the natural and computational problem solving is in this part firstly analyzed. Then the different intelligent softbot paradigms are presented and briefly discussed: Knowledge Based Systems, Neural Networks and Evolutionary Computing. At the end, an estimated answer to the established question is proposed.

*Keywords:* artificial intelligence; intelligent systems; intelligence; knowledge based systems; neural networks; evolutionary computing

### **Resumen**

Este trabajo trata de llegar a estimar el grado o nivel de inteligencia que poseen actualmente los distintos paradigmas de los llamados Sistemas Inteligentes Artificiales, y su proyección hacia un futuro cercano, en base a las propiedades y características fundamentales que debe poseer un Sistema Inteligente, que lo diferencie de otros sistemas artificiales utilizados, como los Sistemas Automáticos.

El trabajo consta de dos partes. Una primera, de Conceptos Generales, donde se tratan, inicialmente, algunos antecedentes importantes, para luego, referirse a los conceptos críticos de Inteligencia y Sistema Inteligente: natural y artificial, de modo de, finalmente, poder arribar a una definición de Sistema Inteligente que sea útil al objetivo de este trabajo. La segunda parte está ya dedicada de lleno a tratar de responder a la inquietante pregunta planteada en el título de este trabajo, orientada a los *softbots* inteligentes. Como la clase de inteligencia desarrollada en los Sistemas Inteligentes Artificiales es la denominada analítica o racional, se analiza la resolución de problemas: natural y computacional, se presentan luego y discuten brevemente, los distintos paradigmas de *softbots* inteligentes: Basados en el Conocimiento, Neuronales y Evolutivos para, por último, concluir proponiendo una respuesta estimada a la pregunta planteada.

*Palabras Clave:* inteligencia artificial; sistemas inteligentes; inteligencia; sistemas basados en el conocimiento; redes neuronales; computación evolutiva.

## 1. INTRODUCCIÓN

Como este trabajo corresponde a la presentación preparada para la ceremonia de incorporación, como académico de número a la Academia Nacional de Ingeniería, del autor del mismo, su desarrollo ha sido orientado a tratar el tema en una forma no estrictamente técnica, con el objetivo de, sin perder un nivel de rigurosidad, tratar de llegar con los conceptos fundamentales, a la mayor parte de la audiencia en este tipo de ceremonias.

Si bien, muchas veces, las propagandas comerciales exageran sobre el uso de las palabras *inteligente* o *Sistema Inteligente* (SI), especialmente cuando se refieren a sistemas que son sólo *Sistemas Automáticos* (SS.AuAu), en general sistemas donde se hace uso de, al menos, un procesador, se debe reconocer que los *Sistemas Inteligentes Artificiales* (SS.II.AA) ya están presentes en muchas áreas, no sólo científicas sino, ya, en la vida cotidiana. Como ejemplo se tiene, en un extremo, robots *humanoides* [16], sondas espaciales, toda la robotización industrial y, en el otro, su utilización en equipos domésticos, como lavarropas, heladeras, cámaras fotográficas, entre otros. En este caso, su presencia se manifiesta a través del uso de palabras como *fuzzy logic* [1, 11, 20, 21], *fuzzy control* [18], *neural network* [6, 7], etc.

El objetivo principal de este trabajo es tratar de llegar a estimar el grado o nivel de inteligencia que poseen actualmente los distintos paradigmas de los SS.II.AA basados enteramente en software, denominados *softbots* inteligentes, que constituyen, fundamentalmente, el cerebro artificial de los robots inteligentes: constituidos por hardware y software, y su proyección hacia un futuro cercano, en base a las propiedades y características fundamentales que debe poseer un SI, que los diferencie, de otros sistemas artificiales utilizados, como los SS.AuAu.

El contenido a ser desarrollado comprende dos partes, una primera, de Conceptos Generales, donde se tratarán brevemente algunos antecedentes importantes, para luego referirse a los conceptos críticos de, por un lado, inteligencia, destacando las diferentes clases que hoy en día es posible discernir, y, por otro, SI: natural y artificial, para, finalmente, poder arribar a una definición de Sistema Inteligente, que sea útil al objetivo de este trabajo. La segunda parte está ya dedicada de pleno a tratar de responder a la inquietante pregunta planteada en el título de este trabajo, como ya se expresó anteriormente, orientada a los *softbots* inteligentes. Como la clase de inteligencia desarrollada en los SS.II.AA es la denominada analítica o racional, la que se manifiesta, fundamentalmente, en la capacidad para resolver problemas, se analiza la resolución de problemas: natural y computacional, se presentan luego los distintos paradigmas de *softbots* inteligentes: Basados en el Conocimiento [16, 17], Neuronales [6, 7] y Evolutivos [4, 15] para, por último, concluir tratando de contestar la pregunta planteada.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Inteligencia Artificial

La **Inteligencia Artificial** (IA) [16, 17] es una rama importante de las Ciencias Computacionales, la cual, si bien se difundió mucho en las dos últimas décadas, es casi tan antigua como la computación misma. Se considera que su nacimiento se produce en 1956, donde en un congreso realizado en Dartmouth, que tenía como objetivo primario impulsar el desarrollo de la Cibernética, ancestro directo de la IA, el Dr. John McCarthy propone la creación de una nueva disciplina con el nombre de *Artificial Intelligence*, lo que fue aprobado por aclamación. Corroborando lo anteriormente expresado, el hecho que, el llamado primer lenguaje específico de la IA tradicional, el LISP [19], desarrollado por el Dr. McCarthy en 1959, fue el segundo lenguaje computacional de alto nivel, después del Fortran.

La IA tiene, a su vez, dos sub-ramas: La rama **Cognitiva** y la rama **Técnica**. La primera se ocupa del estudio de los procesos intelectuales biológicos, como el razonamiento, aprendizaje, memoria, etc, a través de la simulación computacional. La rama **Técnica**, se ocupa del desarrollo e implementación de los **SS.II.AA**, resultando entonces, la del mayor interés desde el punto de vista de las ingenierías.

### 2.2. Historia

Hace **1,8 millones de años**, el hombre comenzó con el uso de **herramientas**, utilizando la fuerza de sus músculos y controladas por su cerebro, lo que marca un tremendo hito en la historia de la humanidad, al permitirle poder aumentar dramáticamente la **eficiencia** en la resolución de muchos problemas.

Hace aproximadamente poco más de **200 años**, durante la revolución industrial, comienza con el uso de **máquinas**: herramientas movidas por fuerzas artificiales, controladas por su cerebro. Es decir, el hombre había encontrado la forma de amplificar su potencia muscular.

**Hoy** la humanidad se encuentra en el proceso de darle **cerebros artificiales a las máquinas**.

### 2.3. Ingenierías

Hasta la aparición de la ingeniería electrónica, las ingenierías de hasta entonces, como la mecánica, química y eléctrica, se habían ocupado de ayudar al hombre en la resolución de **problemas físicos**. Con la aparición de la ingeniería electrónica, se dan los primeros pasos en comenzar a ayudarlo a resolver **problemas intelectuales**, lo que se consolida con la aparición de la ingeniería informática.

### 2.4. Inteligencia

Existen diversas **clases** y especializaciones de inteligencia: Analítica/Racional, Verbal/Lingüística, Visual/Espacial, Emocional [5], entre otras. A su vez, existen muchas manifestaciones globales de inteligencia: Resolución de problemas, Creatividad, Sentido común, etc [10]. Los **SS.II.AA** actuales tienen desarrollada, fundamentalmente, la **inteligencia analítica**, la cual se manifiesta en la **resolución de problemas**. Como este trabajo se ocupa de esta clase de sistemas, es conveniente, entonces, ponerse de acuerdo en qué se entiende por problema, tema que se comienza a tratar a continuación.

Se dice que se está ante un **problema** cuando, partiendo de un **estado presente**, definido en general, por un conjunto de situaciones iniciales  $S_i$ , se desea alcanzar una **meta**, definida en general, por un conjunto de situaciones finales  $S_f$ , y se dispone para ello, en general, de muchas alternativas. A fin de pasar de una dada situación  $s_i$ , a una situación siguiente  $s_{i+1}$ , es necesario ejecutar acciones, que son las **acciones legales** del problema. Como la aplicación de una acción legal a una dada situación, permite pasar a una situación siguiente, es usual representar el conjunto de acciones por un conjunto de operadores, en correspondencia con cada una de las mismas. Todo esto define un grafo, donde los nodos son situaciones y los arcos son acciones legales, con el nodo raíz en el estado presente, que constituye el **grafo del problema**. Cuanto más complejo es el problema, más complejo es el grafo. Si existe una secuencia de acciones que permita pasar de una situación inicial  $s_i^*$ , perteneciente al conjunto  $S_i$ , a una situación final  $s_f^*$ , perteneciente a  $S_f$ , dicha secuencia de acciones, será una **solución** del problema. Un problema puede tener ninguna solución, una solución o más de una solución. El conjunto  $\{S_i, S_f\}$  constituyen los **Datos** del problema y el conjunto de acciones legales (operadores), los **Conocimientos**. Los Datos más los Conocimientos definen lo que se llama el **Qué** del problema: en qué consiste el problema, y constituye la forma declarativa, independiente de la resolución, de definir un problema. Es la definición usual usada por la IA, que conlleva la idea fundamental de la misma: decirle a la máquina, en qué consiste el problema, para que sea la máquina, con inteligencia artificial, que encuentre la solución del mismo, en contraposición con la programación tradicional, donde el problema es resuelto con la inteligencia natural del programador o, más exactamente, con la del que desarrolló el algoritmo aplicado por el programa utilizado. Esta definición de problema que se acaba de dar, es completamente general y comprende tanto problemas simples, como el clásico de cambiar el neumático de un automóvil, problemas complejos, como diseñar una nave espacial, problemas concretos, como la fabricación de una herramienta, y problemas abstractos, como demostrar un teorema.

### 2.5. Sistema Inteligente Natural

Como ya fue expresado, el objetivo de la rama técnica de la IA es la construcción de SS.II.AA, que son Sistemas Inteligentes (SS.II) no naturales, creados por el hombre. Resulta, entonces, que el objetivo máximo de la IA es el de aproximarse lo más posible al hombre, creando **humanoides**, y, eventualmente, superarlo. De lo anterior se desprende que el mejor camino para estudiar y poder definir un Sistema Inteligente Artificial (SIA), es observar un Sistema Inteligente Natural (SIN).

En un **SIN** se puede observar:

- Se mueve autónomamente dentro de un **ambiente** - parte del universo al cual pertenece -, ejecutando acciones en pos de un objetivo.
- Posee un **cuerpo**, con una determinada **arquitectura**, el cual contiene los siguientes elementos:
  - **Sensores**, para percibir información del ambiente.
  - **Efectores**, para ejecutar sus acciones.
  - Un **cerebro**, para decidir acciones que lo acerquen al objetivo, en base a:
    - 1) Su **conocimiento previo**
    - 2) La **información percibida**

### 3) El **conocimiento adquirido**, a partir de sus propias experiencias

De todo lo anterior surge que un **SIN**, a partir de los **Datos percibidos** y sus **Conocimientos: previos y adquiridos (Aprende)**, el SIN trata de obtener conclusiones (**Razona**), que lo acerquen al objetivo.

El razonamiento es el proceso por el cual se pretende probar una conjetura, a partir de un conjunto de premisas, utilizando técnicas de inferencia. Existen tres **formas** clásicas de inferencia: Deducción, Abducción e Inducción [8], cuyos esquemas de razonamiento son los que se muestran a continuación.

• <b>Deducción</b>	• <b>Abducción</b>	• <b>Inducción</b>
$p_1 \Rightarrow p_2$	$p_1 \Rightarrow p_2$	$P(o_1), P(o_2), \dots, P(o_n)$
$p_1$	$p_2$	-----
-----	-----	$\therefore (\forall x)P(x)$
$\therefore p_2$	$\therefore p_1$	

**Deducción**, basada en el esquema de razonamiento de la regla modus ponendo ponens, es la única inferencia **válida**. Su generalización da origen al llamado razonamiento aproximado. **Abducción**, la inferencia "basada en el síntoma" o también llamada "inferencia de los médicos", no es una inferencia válida. Su generalización da origen al razonamiento plausible. **Inducción**, que tampoco es una inferencia válida, salvo en aquellos casos en los que es posible realizar una inducción completa, es la clásica inferencia del aprendizaje humano: si dentro de un dominio, existe una propiedad que se cumple para un gran número de objetos dentro de ese dominio, es plausible que se cumpla para todos.

**Aprendizaje** [6, 12, 17] es el proceso por el cual un sistema, intentando alcanzar una meta, incrementa sus conocimientos, mejorando su desempeño. Aprendizaje implica algún **cambio** en, por lo menos, algún parámetro del sistema. Existen las cuatro **formas** de aprendizaje, que se muestran a continuación.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por <b>Programación</b></li> </ul>	Existe adquisición directa de conocimientos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por <b>Entrenamiento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Supervisado por Maestro</li> <li>- No Supervisado</li> </ul> </li> </ul>	Existe una fase previa a la operación Por Corrección de Errores Por propias experiencias
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por <b>Operación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Supervisado                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Por Maestro</li> <li>- Por Crítico</li> </ul> </li> <li>- No Supervisado</li> </ul> </li> </ul>	El aprendizaje continúa en esta fase  Por Corrección de Errores Por Refuerzo  Por propias experiencias
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por <b>Evolución</b></li> </ul>	Generacional

Los aprendizajes por entrenamiento y por operación, constituyen el típico aprendizaje de las criaturas.

El aprendizaje por evolución constituye el aprendizaje generacional del sistema evolutivo natural.

El aprendizaje por programación, el cual es el caso límite entre la existencia de aprendizaje o no, constituye un aprendizaje típico de los sistemas computacionales.

Todas estas cuatro posibles clases de aprendizaje son factibles de ser simulados computacionalmente.

## 2.6. Sistema Inteligente Artificial

Un **SIA** posee, en general, los mismos elementos que un SIN, pero con características limitadas. Se destacan:

- **Robot autónomo**
  - Está basado en **hardware** y **software**
  - Puede ser fijo o móvil
  - Tiene como máxima expresión el humanoide

- **Softbot inteligente**

Está basado enteramente en **software**

Su cuerpo es una computadora, percibe secuencias de código y acciona entregando secuencias de código.

Es un programa de computadora que simula algún tipo de comportamiento inteligente.

Al **SIA** se lo denomina, también, **agente inteligente** [16]. Este concepto de agente, nacido en el área de los SS.II.AA, se lo generaliza a aquellos que no son inteligentes. En particular, los denominados **agentes racionales** [16], son los que accionan exitosamente para satisfacer un objetivo, quedando descartados en esta definición, aquellos que accionan aleatoriamente. De este modo, dentro de los agentes racionales, se pueden distinguir:

- **No Inteligentes**

- Generales: *hardware + software*

*Robots no autónomos  
Sistemas Automáticos*

- Softbots: *Sólo software*

*Programas tradicionales*

- **Inteligentes**

- Generales: *hardware + software inteligente  
Control motriz + Cerebro*

*Robots autónomos*

- Softbots: *Sólo software*

*Basados en el*

**Conocimiento**

Constituyen el cerebro de los SS.II.AA

**Neuronales**

**Evolutivos**

Las tres clases de softbot inteligente: **Basados en el Conocimiento, Neuronales y Evolutivos**, representan los **tres tipos de paradigmas** que son objeto de **estudio comparativo** en este trabajo.

## 2.7. Definición de Inteligencia

Como el objetivo principal de este trabajo, como ya fue expresado, es el de tratar de estimar el nivel de inteligencia que poseen los distintos paradigmas de los SS.II.AA, en base a las características fundamentales que debe poseer un SI, que lo diferencia de otro que no lo es, una definición de inteligencia que sea útil a ese propósito, debería permitir identificar cuáles son esas características.

Existen gran cantidad de definiciones de inteligencia. Una de ellas, muy general, es la muy conocida: *Intelligence is what we use... when we don't know what to do* (Inteligencia es lo que usamos...cuando no sabemos qué hacer), es una muy buena síntesis del concepto global de inteligencia; empero, al ser tan general, no aporta elementos explícitos de los que se puedan derivar las características fundamentales que permitirán, posteriormente, incorporarlas a la definición de SI que se propone

A continuación, se presentan dos definiciones que presentan, por supuesto, muchos conceptos en común, y que, al ser más detalladas, permitirán identificar las características que se están buscando.

*Es la capacidad de un **ser inteligente**, que le permite **aprender a realizar varias funciones dentro de un ambiente cambiante**, de manera de **sobrevivir y prosperar**.*

*Es la capacidad de un **sistema inteligente**, que le permite **adaptar su comportamiento al cumplimiento de sus objetivos**, en un **rango de ambientes**.*

## 2.8. Definición de Sistema Inteligente

De las dos definiciones de inteligencia que se acaban de presentar en el punto anterior, surge que es posible derivar, como síntesis, la siguiente **definición de SI**: *Es un Sistema que presenta, como principal característica, su capacidad de adaptación a condiciones variables de su entorno, en pos del cumplimiento de sus objetivos*. Para ello debe poseer tres capacidades básicas:

1) De **Razonar**, para obtener conclusiones y, de ahí, tomar sus propias decisiones.

2) De **Aprender**, para adquirir nuevos conocimientos, a partir de sus experiencias.

3) De **Interactuar** con otros Sistemas Inteligentes, mediante la comunicación y el entendimiento.

De (1) y (2) surge la capacidad suprema de todo S.I., de **Generalizar**, para resolver bien situaciones no presentadas durante su proceso de aprendizaje. Comprende la formación de conceptos: transición de una descripción particular de un objeto a una descripción conceptual.

Se da por supuesto que el Sistema Inteligente posee, al menos, una mínima capacidad de **memorizar**, la que es un imprescindible complemento de todas estas capacidades.

De todo lo anterior surge una síntesis de **características** principales de los SI, que pueden ser denominadas características **esenciales**, a las que se agregan otras, denominadas características **deseables**, presentes en los sistemas biológicos, las que se detallan a continuación.

- **Esenciales**

*Razonamiento*: para obtener conclusiones y, de ahí, tomar sus propias decisiones.

*Aprendizaje*: para adquirir nuevos conocimientos, a partir de sus experiencias.

*Interacción* con otros Sistemas Inteligentes, mediante la comunicación y el entendimiento.

*Generalización*: para resolver bien situaciones no presentadas durante su proceso de aprendizaje.

*Memoria*: como imprescindible complemento de las demás capacidades.

- **Deseables**

*Robustez*: para poder continuar operando bien con daños parciales.

*Reproducción*: para poder mejorar generacionalmente.

### 3. SON INTELIGENTES .... LOS SISTEMAS INTELIGENTES ?

En este apartado se desarrollará todo lo necesario con el fin de poder responder a la pregunta fundamental planteada en este trabajo.

#### 3.1. Clasificación de Problemas

Entre las muchas y distintas formas en que es posible clasificar los problemas, es de interés para el tema a desarrollar, la que los clasifica en problemas algorítmicos y problemas no-algorítmicos

- **Problemas Algorítmicos**

Existe, y se conoce, un procedimiento eficiente y no demasiado complejo, para resolverlos.

El procedimiento es solución del problema y, por lo tanto, el problema está resuelto.

- **Problemas No-Algorítmicos**

No existe, o no se conoce, un algoritmo eficiente y no demasiado complejo para resolverlos.

Se requiere alguna clase de inteligencia para resolverlo. A su vez, es posible distinguir:

- *Problemas Combinatorios*

Comprenden en general los llamados problemas de ingenio. El espacio del problema es usualmente pequeño. Se pueden resolver sin poder alternativas. El conocimiento puede ser adquirido por deducción. Datos y Conocimientos son ciertos y precisos.

- *Problemas Empíricos*

Comprenden los problemas del mundo real. Se caracterizan por un espacio enorme del problema. Muchos son resueltos por expertos podando alternativas. Los conocimientos mayoritarios sólo pueden adquirirse por inducción. Datos y Conocimientos son mayoritariamente inciertos e imprecisos. Los Conocimientos no siempre son totalmente explícitos.

#### 3.2. Resolución Natural de Problemas

Se presentan a continuación, las distintas alternativas que pueden presentarse en la resolución natural de problemas, correspondiendo, de los casos (a) al (b.2.1), a la resolución tal cual la hacen las **criaturas naturales** y, el (c), al **sistema evolutivo natural**.

## Alternativas

(a)  $\exists$  Procedimiento

---

$\Rightarrow$  Problema Resuelto

Cuando existe un **procedimiento** viable computacionalmente, el problema está resuelto y, por tanto, no es necesario utilizar ningún nivel de inteligencia.

(b)  $\neg \exists$  Procedimiento

---

$\Rightarrow$  Algún nivel de **Inteligencia** permite encontrar solución aceptable

Cuando **no** existe un **procedimiento**, es necesario utilizar algún nivel de inteligencia.

**Explicita** (b.1)  $\exists$  **Totalidad de Conocimientos (Reglas) explícitos** **Experticia**

$\wedge$   $\exists$  Capacidad de **Razonamiento Deductivo**

---

$\Rightarrow$  Alguna **solución** aceptable se puede encontrar

Si no existe un procedimiento, pero existen la totalidad de los conocimientos, en general en forma de **reglas**, y capacidad de razonamiento deductivo que procese esos conocimientos, es posible encontrar alguna solución aceptable.

(b.2)  $\neg \exists$  **Totalidad de Conocimientos explícitos**

---

$\Rightarrow$  Hay que adquirirlos: **Aprendizaje**

Si no se dispone de la totalidad de los conocimientos, hay que adquirirlos mediante un **aprendizaje**.

**Implícita** (b.2.1)  $\exists$  **Datos históricos (Ejemplos)** **Experticia**

$\wedge$   $\exists$  Capacidad de **Aprender por Entrenamiento**

$\wedge$   $\exists$  Capacidad de **Razonamiento Inductivo**

---

$\Rightarrow$  Alguna **solución** aceptable se puede encontrar

Si se dispone de **ejemplos**, provenientes de datos históricos, de capacidad de aprender por entrenamiento y capacidad de razonamiento inductivo, es posible encontrar una solución.

Con este esquema **terminan los distintos casos** que pueden presentarse en la **resolución natural de problemas**, tal cual la pueden realizar las **criaturas**, y que están de acuerdo a las **definiciones** dadas en los puntos 2.7 y 2.8.

A continuación, a fin de completar el panorama de la resolución natural de problemas, se presenta el aprendizaje generacional del **sistema evolutivo natural** que, al poder ser incorporado a los sistemas computacionales, permitirá extender el concepto de inteligencia artificial al de **inteligencia computacional** [3].

(c)  $\exists$  **Criaturas**

$\wedge$   $\exists$  **Medio Ambiente**

$\wedge$   $\exists$  Capacidad de **Aprendizaje Generacional**

---

$\Rightarrow$  Alguna **solución** aceptable se puede encontrar

Este esquema sintetiza el **aprendizaje generacional del sistema evolutivo natural**, donde las criaturas representan posibles soluciones adecuadas para sobrevivir en el medio en el cual accionan, las cuales se van adaptando mejor al mismo, en sucesivas generaciones.

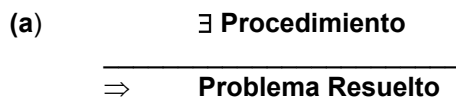
### 3.3. Resolución Computacional de Problemas

#### 3.3.1. Sistemas Computacionales Tradicionales

Esta clase de sistemas presentan las siguientes características:

- Arquitectura Von Neumann : Operación serie y Programación **Algorítmica**.
- El problema es resuelto por el programador con Inteligencia **Natural**.
- Se utiliza una representación procedimental que define conjuntamente en **QUÉ** consiste el problema y **CÓMO** resolverlo.

De lo anterior surge que es aplicable el esquema (a) del punto 3.2:



#### 3.3.2. Sistemas Computacionales Inteligentes

Esta clase de sistemas se caracterizan por:

- Programación **no-algorítmica**.
- Se pretende que el problema sea resuelto por la máquina con inteligencia **artificial**.
- Se usa una representación declarativa que define sólo en **QUÉ** consiste el problema.
- El problema se define de acuerdo al tipo de información disponible: reglas, ejemplos, etc.

De lo anterior surge que le corresponde el caso (b) del punto 3.2:



#### 3.3.3. Clasificación de los Softbots Inteligentes

Es posible distinguir los tres posibles paradigmas de softbots inteligentes, que se presentan a continuación. En la parte derecha, en letra cursiva, se destacan sus características principales.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sistemas Basados en el Conocimiento</b> Requieren disponibilidad de conocimientos</li> </ul>	<p><i>Razonamiento Deductivo</i> <i>Aprendizaje Programado</i></p>
<p>Tradicionales</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inteligencia Artificial Tradicional</li> </ul>	<p>Sistemas Expertos</p>
<p>Razonamiento Bivaluado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de Razonamiento Inexacto</li> </ul>	<p>Otras Aplicaciones</p>
<p>Razonamiento Aproximado</p>	<p>Sistemas Expertos Borrosos Sistemas de Control Borroso</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sistemas Neuronales</b> Requieren disponibilidad de datos históricos.</li> </ul>	<p><i>Aprendizaje</i> <i>Por Entrenamiento y Operación</i> <i>Razonamiento Inductivo</i></p>

- **Sistemas Evolutivos**

Requieren disponibilidad de posibles soluciones o de programas, y de un criterio de bondad para las mismas.

*Aprendizaje  
Por Evolución*

Los Sistemas Borrosos (SS.BB), los Sistemas Neuronales SS.NN y los Sistemas Evolutivos SS.Ev.Ev constituyen los paradigmas biológicos, y conforman la denominada **Soft Computing** [9], en contraposición con la *Hard Computing* tradicional, la computación del falso/verdadero y de las transiciones bruscas.

### 3.3.3.1. Sistemas Basados en el Conocimiento

Los Sistemas Basados en el Conocimiento (SS.BB.CC) son sistemas computacionales que presentan la arquitectura de software que muestra la figura 1. De la misma surge la presencia de tres unidades independientes: el control computacional, una base de conocimientos y una base de datos.

El control puede verse desde dos puntos de vista: computacional y lógico. Desde el computacional, es un intérprete - o compilador -, del programa de conocimientos, que contiene la base de conocimientos. Es decir, en una máquina Von Neumann, en este tipo de sistemas, se produce una doble interpretación/compilación: la que origina el lenguaje de alto nivel que se utilice, y la producida por el programa de conocimientos. Desde el punto de vista lógico, el control representa la simulación de un mecanismo de inferencia deductiva o capacidad de razonamiento del sistema. Cualquier programa de conocimientos escrito en el lenguaje que define el control, podrá ser procesado por el mismo.

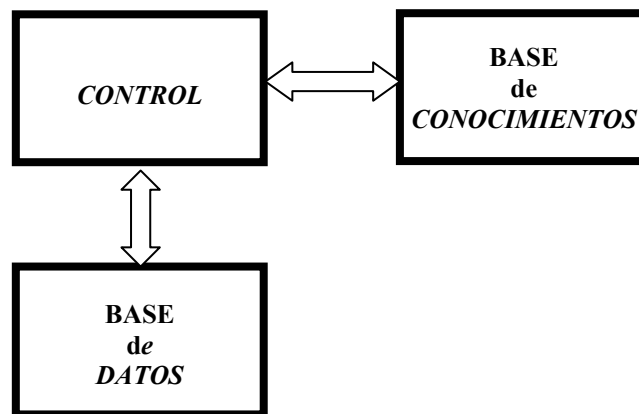


Figura 1. Arquitectura de Software.

De todo lo anterior surge que a este paradigma le corresponde el caso (b.1) del punto 3.2:

$$\begin{array}{l}
 \text{(b.1)} \\
 \text{Explícita}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \exists \text{ Totalidad de Conocimientos (Reglas) explícitos} \\
 \wedge \\
 \exists \text{ Capacidad de Razonamiento Deductivo}
 \end{array}
 \quad
 \text{Experticia}$$


---

$\Rightarrow$  Alguna **solución** aceptable se puede encontrar

Dependiendo del contenido de las tres unidades, se tendrán los distintos SS.BB.CC específicos Dentro de la IA tradicional: Sistemas de Producción, Sistemas de Deducción, Sistemas Expertos. En particular, en estos últimos, la unidad de conocimientos contiene la experticia del experto humano. En el caso de los Sistemas Borrosos, la base de conocimientos contendrá reglas inciertas e imprecisas, la de datos, hechos inciertos e imprecisos y la unidad de control deberá contener un mecanismo de inferencia generalizado, adecuado para el procesamiento de esta clase de información.

Como **conclusiones** importantes de estos sistemas pueden destacarse:

**Razonamiento:** Deductivo explícito.

**Aprendizaje:** Sólo por Programación. No poseen posibilidad de mejorar ni por entrenamiento ni por evolución.

**Interacción con otros Sistemas Inteligentes:** Dependerá fuertemente de la Interfaz de Usuario utilizada. Empero, como poseen en forma explícita las reglas y la unidad de razonamiento, pueden explicar fácilmente la cadena de inferencias seguida cuando arriban a una conclusión.

**Generalización:** No.

**Robustez:** No.

### 3.3.3.2. Sistemas Neuronales Artificiales

Son modelos que tratan de simular las **redes neuronales biológicas** de los animales superiores, en particular, el hombre. Están constituidas por un alto grado de **conexionismo** de **neuronas artificiales**, de acuerdo a una cierta topología o **arquitectura** [6, 7]. Las propiedades de una red neuronal dependen del modelo de neurona y de la arquitectura utilizada.

La figura 2 muestra los aspectos importantes a destacar en una neurona biológica. El **soma** conforma el cuerpo de la neurona. Las **dendritas**, los filetes finos, constituyen las entradas. El **axón** es el filete grueso de salida. Finalmente, las **sinapsis**, conexiones entre el axón de una neurona con las dendritas de otras, tienen distinta intensidad, y constituyen la memoria del sistema.

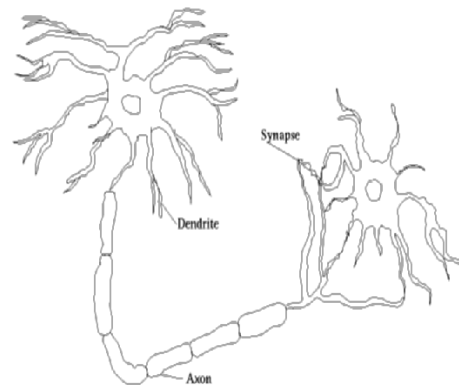


Figura 2. Neurona biológica

La figura 3 muestra un **modelo general de neurona artificial**.

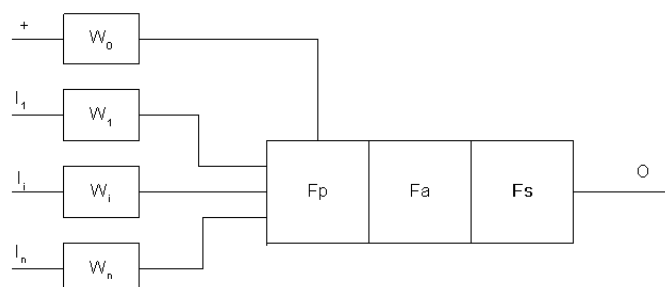


Figura 3. Modelo de Neurona Artificial

Se cumple:  $O = F_s(F_a(F_p(I_i, w_i)))$

Donde:  $w_i$  : pesos. Representan las sinapsis o intensidades de conexión. En particular, el peso  $w_0$ , conectado a un valor fijo +1, constituye la polarización.  
 $F_p$  : función de propagación  
 $F_a$  : función de activación  
 $F_s$  : función de salida

Usualmente,  $F_s$  es la función identidad y  $F_p$  es una función que realiza la suma ponderada entre las entradas  $I_i$  y los pesos  $w_i$  :

$$fp = \sum_{i=1}^n w_i I_i + w_0$$

Las arquitecturas agrupan a las neuronas en capas, variando el número y características de las capas, de acuerdo al tipo de arquitectura y a la aplicación en particular de que se trate.

Las figuras 4 y 5 muestran los casos extremos de una arquitectura *feedforward*, con alimentación hacia delante, sin ninguna clase de realimentaciones, y, de arquitectura unicapa recurrente, donde cada una de las neuronas está interconectada con el resto. Por supuesto, es usual utilizar arquitecturas comprendidas entre estos dos casos extremos.

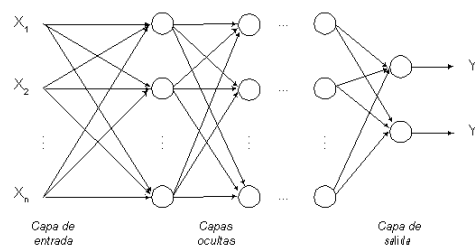


Figura 4. Arquitectura *feedforward*

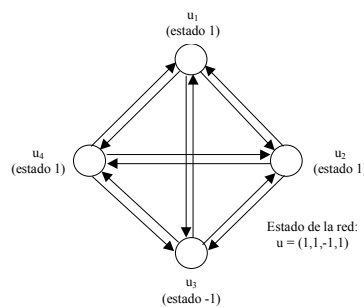


Figura 5. Arquitectura recurrente

El **aprendizaje neuronal** tiene como objetivo la obtención de una matriz de pesos  $W$  adecuada para alcanzar el comportamiento deseado de la red. Para el cumplimiento de dicho objetivo utiliza un **algoritmo** de aprendizaje.

En el aprendizaje *off-line*, existen dos etapas o fases: Fase de **Entrenamiento** y Fase de **Verificación**

En el aprendizaje *on-line*, el aprendizaje continúa durante la Fase de **Operación**.

En **síntesis**, un **Sistema Neuronal** es un sistema que tiene un conjunto de  $n$  entradas  $I_i$ , un conjunto de  $m$  salidas  $O_j$ , y está caracterizado por una determinada arquitectura y por una matriz de pesos  $W$ , como muestra la figura 6.

El sistema es entrenado, presentándole en su entrada un conjunto de patrones (ejemplos) de entrenamiento y, si el aprendizaje es supervisado, indicándoles las salidas deseadas en correspondencia con las entradas. Terminado adecuadamente el ciclo iterativo de entrenamiento, se



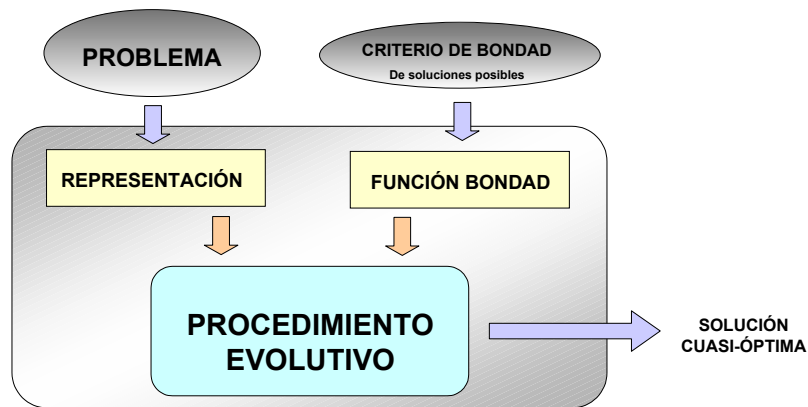


Figura 7. Sistema Evolutivo

Está basado en una búsqueda en el espacio de todas las posibles soluciones (cromosomas), donde cada ciclo evolutivo (generación) consiste en un proceso con dos fases:

- Selección (de progenitores y sobrevivientes).
- Búsqueda (reproducción: cruzamiento + mutación).

Cada posible solución es representada mediante una codificación.

La representación (codificación) utilizada y la función bondad, constituyen la dedicación del procedimiento evolutivo al problema.

La figur 8. muestra un posible procedimiento evolutivo **básico**.

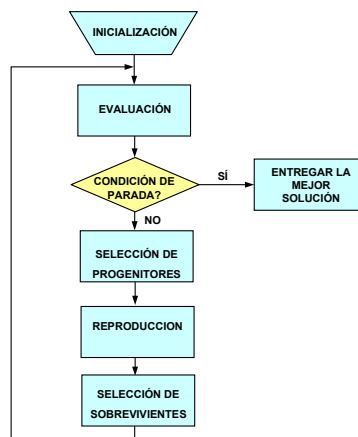


Figura 8. Procedimiento Evolutivo

En la inicialización se fija, principalmente, la población inicial de  $n$  individuos, la que, usualmente, es elegida al azar, además de algunos parámetros, como las probabilidades de cruzamiento y mutación, el porcentaje de progenitores, entre otros.

La evaluación es realizada por la función bondad, formada en base al criterio de bondad adoptado, la cual asigna un valor numérico a cada individuo en relación directa a la calidad del mismo:

bondad o aptitud. En la naturaleza la función bondad está representada por el ambiente donde acciona el ser, el que “mide” su adaptación al mismo

La condición de parada del ciclo iterativo está constituida por dos condiciones. Una, por cantidad: número máximo de iteraciones y, otra, por calidad, que mide de algún modo, el grado de convergencia alcanzado.

Una vez realizada la reproducción, a partir de la selección de progenitores y las operaciones de cruzamiento y mutación, se obtienen m descendientes, los que se agregan a los n individuos de los que se partió. El punto de cruce se elige aleatoriamente para cada pareja a cruzar. A partir de éste, se permutan los genes de la pareja, dando origen a dos nuevos individuos, como se muestra a continuación

$$\begin{array}{ccc} 101101 \mid 0100 & & 101101 \mid 1111 \\ & \rightarrow & \\ 011010 \mid 1111 & & 011010 \mid 0100 \end{array}$$

La operación de mutación, que tiene una probabilidad muy baja de ocurrencia, se efectúa gen a gen, como se muestra debajo, donde en la séptima posición ha sido cambiado un cero por un uno.

011010 **1** 100

Después de efectuada la selección de sobrevivientes, se vuelve a tener una población de n individuos. Para la selección, tanto de progenitores como de sobrevivientes, se utiliza algún método que esté de acuerdo con el principio fundamental de dar mayor probabilidad a los mejores. La selección por elite es, en general, descartada, ya que suelen conducir a la obtención de un óptimo local y no un óptimo global, que es el deseado.

Al cabo de un razonable número de iteraciones, habiendo elegido adecuadamente la representación, la función bondad y los parámetros, la bondad de las sucesivas poblaciones habrá aumentado en promedio, no necesariamente en forma monótona, también la del mejor individuo, y, entonces, al cumplirse alguna de las condiciones de parada, el sistema podrá entregar una solución cuasi-óptima.

De todo lo desarrollado en este punto, surge claramente la correspondencia entre esta clase de sistemas con el caso (c) del punto 3.2:

- (c)             $\exists$  Representación de posibles **Soluciones (Criaturas)**
  - $\wedge$          $\exists$  Criterio de **Bondad** de posibles **Soluciones (Medio Ambiente)**
  - $\wedge$          $\exists$  **Procedimiento Evolutivo** (Capacidad de **Aprendizaje Generacional**)
- 
- $\Rightarrow$             Alguna **solución** aceptable se puede encontrar

Como **conclusiones importantes** acerca de los Sistemas Evolutivos, cabe mencionar:

**Razonamiento:** No. Pero no lo necesitan.

**Aprendizaje:** Por Evolución.

**Interacción con otros Sistemas Inteligentes:** Dependerá fuertemente de la Interfaz de Usuario utilizada.

**Generalización:** No. Pero no la necesitan.

**Robustez:** No.

Cabe puntualizar que para la evaluación de los SEv.SEv, se mantuvo los mismos conceptos usados para evaluar los SS.BB.CC y los SS.NN, derivados de las definiciones enunciadas en los puntos (2.7) y (2.8), si bien dichos sistemas no tienen correspondencia con las criaturas. Es por ello que, en lo que se refiere al razonamiento y generalización, valen la salvedad de que ambos no son necesarios para estos sistemas.

### 3.3.3.4. Sistemas Híbridos

Los paradigmas híbridos [13, 14], combinando en un mismo marco de trabajo distintos paradigmas puros de softbots inteligentes, permiten incrementar el grado de inteligencia computacional. Aprovechan la complementación (sinergismo) existente entre los distintos paradigmas, entre otros: SS.BB.CC con

SS.NN, a fin de mejorar el grado de interacción; neuronales con evolutivos, a fin de lograr la resolución de problemas sin el uso de experticia, etc. Es decir, los distintos paradigmas de softbots inteligentes no compiten entre sí, sino que se complementan, lo que permite lograr mejores resultados al combinarlos.

#### 4. CONCLUSIONES

1. La inteligencia computacional, si bien limitada, por ahora, en lo que se refiere a creatividad y sentido común, puede hacer uso de una capacidad que no poseen las criaturas humanas: la inteligencia evolutiva.

2. Si bien ninguno de los paradigmas puros de softbots inteligentes cumple estrictamente las condiciones establecidas por la definición de Sistema Inteligente, puede afirmarse que todos ellos poseen, al menos, una característica que los diferencia claramente de los no inteligentes, por ejemplo, de los Sistemas Automáticos.

3. La complementación aprovechada por los Sistemas Híbridos actuales abre una perspectiva muy grande de mejoramiento en el comportamiento de los mismos, muy especialmente, cuando se puedan instalar en las futuras plataformas de *hardware*, como las que prometen la computación cuántica o la computación basada en ADN, entre otras.

Basado en todo lo desarrollado y, resumido, en las conclusiones anteriores, se está en condiciones de responder a la pregunta planteada:

#### Son INTELIGENTES... los SISTEMAS INTELIGENTES ?

- En el **presente** estado del arte, puede afirmarse que:

**Los SISTEMAS INTELIGENTES son... BASTANTE INTELIGENTES !!!**

- En un **futuro**, especialmente a partir del uso de Sistemas Híbridos cada vez más complejos, junto con mejores tecnologías computacionales que las actuales basadas en el silicio, puede estimarse que:

**Los SISTEMAS INTELIGENTES pueden ser... MUY INTELIGENTES !!!**

#### REFERENCIAS

- [1] Bellman R. E. y Zadeh L. A., *Local and Fuzzy Logics*. Electronics Research Lab. College of Engineering. University of California, Berkeley. (1976).
- [2] Charniak E. y McDermott D., *Introduction to Artificial Intelligence*. Addison-Wesley Pub. Comp. (1985).
- [3] Fogel D. B., *Evolutionary Computation: Towards a New Philosophy of Machine Intelligence*. IEEE Press. (1998).
- [4] Goldberg D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley. (1989).
- [5] Goleman D., *La inteligencia emocional*. Vergara. (2000).
- [6] Haykin S., *Neural Networks, A Comprehensive Foundation*. Macmillan College Pub. Comp. (1994).
- [7] Hertz J., Krogh A. y Palmer R. G., *Introduction to the Theory of Neural Computation*. Addison-Wesley Pub. Comp. (1991).

- [8] Holland J. H., Holyoak K. J., Nisbett R. E. y Thagard P. R.. *Induction: Processes of Inference, Learning and Discovery*. The MIT Press. (1986).
- [9] Jang J. R. S., Sun C. T. y Mizutani E., *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*. Prentice Hall. (1997).
- [10] Karagulla S., *Breakthrough to Creativity*. De Vorss, Co., Inc.. (1970).
- [11] Klir G. J., St.Clair U. H. y Yuan B., *Fuzzy Set Theory, Foundations and Applications*. Prentice Hall. (1997).
- [12] Kodratoff Y., *Introduction to Machine Learning*. Morgan Kaufmann Pub. (1986).
- [13] Kosko B., *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. Prentice Hall. (1992).
- [14] Lin Ch. Y Lee C. S. G., *Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*. Prentice Hall. (1996).
- [15] Michalewicz Z., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. Springer Verlag. (1994).
- [16] Nilsson N. J., *Artificial Intelligence: A New Synthesis*. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. (1998).
- [17] Rich E. y Knight K., *Artificial Intelligence*. Mac-Graw Hill, Inc. (1991).
- [18] Terano T., Asai K. y Sugeno M., *Fuzzy Systems Theory and its Applications*. Academic Press. (1992).
- [19] Winston P. H. y Horn B. K. P., *Lisp*. Addison-Wesley Pub. Comp. (1981).
- [20] Zadeh L. A., *A Theory of Approximate Reasoning, Machine Intelligence*. J. E. Hayes, D. Michie and L. I. Kulich, Eds. New York, Academic, (1979) 149-194.
- [21] Zadeh L. A., *Fuzzy Sets*. Readings in Fuzzy Sets for Intelligent Systems, Dubois, Prade & Yager Eds., Morgan Kaufmann Publishers, Inc., (1993) 27-65.