

# TEMA1 INTRODUCCIÓN, PANORAMA HISTÓRICO Y CONCEPTUAL

## 1.-Génesis de las ideas sobre Computación y sobre Inteligencia Artificial

- a) En el ámbito formal y abstracto.
- b) En el ámbito de la ingeniería y de la Física
- c) Neurociencia, Psicología y Economía
- d) Características

**Observación importante:** lo que sigue es una guía de lecturas y estudio. **No** constituye el contenido del tema, ni substituye a los textos.

- a) En el ámbito formal y abstracto:

Proceso de formalización de las Matemáticas:

- Mesopotamia, Egipto, China: conocimientos matemáticos empíricos
- Aristóteles (384 a.C) Organon: silogismo, primeros principios, Lógica
- Euclides (325 a.C.): Matemática empírica + Lógica = demostración, método axiomático matemático.
- Raimundo Lulio (+1315), *Ars Magna*, postulación del cálculo lógico y mecánico
- Leibniz (1646-1716), *Characteristica Universalis*, postulación de lenguajes formales para calcular con conceptos.
- Boole (1815), De Morgan (1806) Peirce (1839), Schröder(1841), Frege (1889), álgebra de la lógica, cálculo de proposiciones y de predicados
- Dificultades: demostración del 5º postulado de Euclides, geometrías no euclídeas; Teoría de conjuntos, paradojas del infinito, enunciados indecidibles (último teorema de Fermat): Crisis de fundamentos, problemas e intento de formalización finitista de Hilbert
- Respuestas (negativas) y logros (positivos) para la Computación: Gödel (1936), Turing, Post Church, Kleene (acotación del concepto de computable, modelos abstractos de la computación, funciones recursivas,  $\lambda$ -cálculo, máquinas de Turing y Post), postulación del pensamiento por máquinas (Turing).
- Tesis de Church-Turing: Toda función efectivamente computable puede llevarse a cabo mediante una máquina universal de Turing (o, equivalentemente mediante el  $\lambda$ -cálculo, o mediante funciones recursivas). Nota: aunque equivalentes, el de máquina Turing es un enfoque desde el punto de vista “hardware”; el  $\lambda$ -cálculo y las funciones recursivas aportan el punto de vista “software” sobre la computación.

b) En el ámbito de la ingeniería y de la Física

- Autómatas mecánicos e hidráulicos (época helenística, Alejandría)
- 1642 y 1671: Calculadoras mecánicas de Pascal y de Leibniz
- Máquinas diferencial (1822) y analítica (1833-42) de Babbage
- Calculadoras electromecánicas (Zuse y otros)
- Ordenador de Von Neumann (1945)

(Ver Russell-Norvig y Nilsson)

c) Filosofía, Neurociencia, Psicología, Economía

- Gómez Pereira (1554), Descartes (1596), problema cuerpo-mente.
- Ramón y Cajal, McCulloch, Pitts, Redes neuronales.
- Von Neumann y Morgenstern, teoría de juegos

(Ver los capítulos introductorios de los libros de Russell-Norvig y de Nilsson)

d) Características importantes de la I.A.

- Se usa más información simbólica que numérica
- Se usan métodos heurísticos más que deterministas
- Se usa conocimiento específico-declarativo e información imperfecta (incompleta o incierta)

**2.-Conceptos de inteligencia. Ver:**

-- Russell-Norvig cap.1

-- Luger, cap.1

-- Shane Legg & Marcus Hutter, *Universal intelligence: a definition of Machine Intelligence* <https://arxiv.org/pdf/0712.3329.pdf>

**3.-Inteligencia artificial, fines y medios. Relación con otras disciplinas.**

Se trata de construir agentes artificiales (hoy por hoy, sistemas informáticos) que emulen el comportamiento de agentes naturales (personas, animales, acaso grupos o sociedades) cuando resuelven problemas siguiendo fines, percibiendo su entorno y actuando sobre él para adaptarse con éxito al mismo. Esta descripción, genérica, es lo bastante flexible como para poder abarcar el funcionamiento de un simple

climatizador, el comportamiento de un termitero o el juego de un gran maestro de ajedrez. También es susceptible de cuantificación: se puede determinar criterios numéricos de comparación de su grado.

Claramente, esto relaciona el campo de la I.A., hoy entroncado en la Computación y encarnado en la Informática, con los de las ciencias formales (Matemática, Lógica, Epistemología, Ontología), la Neurociencia, la Ciencia Cognitiva, la Teoría de la Decisión, la Teoría de Juegos y la Economía.

Paradigma simbólico Hipótesis del símbolo físico (Newell y Simon 1976): la condición necesaria y suficiente para que un sistema físico muestre comportamiento inteligente es que sea un *Sistema de Símbolos Físico*.

Por S.S.F se entiende algo capaz de representación de signos. La hipótesis postula que el uso de símbolos basta para representar el mundo, y que el diseño de mecanismos de búsqueda simbólica, especialmente heurística, para explorar el espacio de potenciales inferencias que estos sistemas simbólicos puedan presentar basta para emular la inteligencia, con independencia del medio de implementación física.

Nótese que esto equivale, *grosso modo*, a decir que: (a) dando **por anticipado** una lista de instrucciones (lo bastante detalladas y complejas), escritas en un **reglamento escrito permanente y definitivo** a un empleado que se lo tome siempre al pie de la letra actuando a ciegas (sin entender nada de lo que haga), (b) que opere en una oficina con ficheros muy grandes (de fichas de cartulina como las de las bibliotecas antiguas), fichas que **contengan sólo cadenas de cifras** (que pueden representar codificaciones numéricas preestablecidas de símbolos) y un escritorio sobre el que puede ejecutar las instrucciones del reglamento, consistentes sólo en **órdenes para extraer** fichas, colocarlas sobre la mesa, hacer cambios estipulados borrando **parte de su contenido o añadiendo contenido** de otras fichas y a **devolverlas posiciones** del fichero, (c) dando tiempo suficiente, es posible emular el comportamiento inteligente de personas o animales que resuelven **problemas nuevos**, no planteados previamente en un ámbito dado. Una apuesta audaz.

Paradigma conexionista (redes neuronales y algoritmos genéticos)

El comportamiento inteligente puede surgir a partir de la capacidad de entrenamiento de redes de neuronas artificiales y el aprendizaje (no simbólico) por parte de las mismas, en procesos que imiten la evolución adaptativa.

#### **4.-Aplicaciones y logros** (ver cuadro cronológico Timeline of Artificial Intelligence [https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline\\_of\\_artificial\\_intelligence](https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_artificial_intelligence) )

Samuel (1952): Programas para jugar a las damas.

Newell y Simon (1956): *Logic Theorist*, programa para descubrir demostraciones en lógica proposicional.

Cálculo simbólico (Mathematica, Maple, MatLab, etc)

Verificación de programas

Timesharing (Proyecto MAC Machine-aided cognition, multiple-access computing del MIT); Interfaces Gráficos de Usuario, Windows (Proyectos de Xerox en Palo Alto ); Paradigmas de programación (propagación de restricciones, usada en hojas de cálculo, orientación a objeto, funcional, lógica).

Juegos, razonamiento automatizado, sistemas expertos, reconocimiento de lenguaje natural hablado o escrito, visión por computador, Planificación *scheduling* y robótica, clasificación heurística etc. (ver : <http://wwwformal.stanford.edu/jmc/whatisai/node2.html> )

## **5.-Campos de la Inteligencia artificial.**

Inteligencia Artificial Lógica, Búsqueda, Reconocimiento de patrones, Representación, Inferencia, Sentido Común y Razonamiento etc.

(Ver: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/node2.html> )

**APÉNDICE:** Sobre la formalización creciente del lenguaje matemático

[http://www.euclides.org/menu/elements\\_esp/indiceeuclides.htm](http://www.euclides.org/menu/elements_esp/indiceeuclides.htm)

NÚMEROS DE PEANO:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Axiomas\\_de\\_Peano](https://es.wikipedia.org/wiki/Axiomas_de_Peano)

AXIOMAS DE LA TEORÍA DE CONJUNTOS:

<https://www.uv.es/ivorra/Libros/Axiomas.pdf><https://www.uv.es/ivorra/Libros/Axiomas.pdf>

# GEOMETRIA (ELEMENTOS, EUCLIDES) FORMULACIÓN

ORIGINAL  
TRADUCIDA

## Euclides, Elementos:

### DEFINICIONES

1. Un punto es lo que no tiene partes.
2. Una línea es una longitud de anchura.
3. Los extremos de una línea son puntos.
4. Una línea recta es aquella que yace por igual respecto de los puntos que están en ella.
5. Una superficie es lo que sólo tiene longitud y anchura.
6. Los extremos de una superficie son líneas.
7. Una superficie plana es aquella que yace por igual respecto de las líneas que están en ella.
8. Un ángulo plano es la inclinación mutua de dos líneas que se encuentran una a otra en un plano y no están en línea recta.
9. Cuando las líneas que comprenden el ángulo son rectas el ángulo se llama rectilíneo.
10. Cuando una recta levantada sobre otra recta forma ángulos adyacentes iguales entre sí, cada uno de los ángulos iguales es recto y la recta levantada se llama perpendicular a aquella sobre la que está.
11. Angulo obtuso es el (ángulo) mayor que un recto.
12. Angulo agudo es el (ángulo) menor que un recto.
13. Un límite es aquello que es extremo de algo.
14. Una figura es lo contenido por uno o varios límites.
15. Un círculo es una figura plana comprendida por una línea [que se llama circunferencia] tal que todas las rectas que caen sobre ella desde un punto de los que están dentro de la figura son iguales entre sí.
16. Y el punto se llama centro del círculo.
17. Un diámetro del círculo es una recta cualquiera trazada a través del centro y limitada en ambos sentidos por la circunferencia del círculo, recta que también divide el círculo en dos partes iguales.
18. Un semicírculo es la figura comprendida entre el diámetro y la circunferencia por él cortada. Y el centro del semicírculo es el mismo que el del círculo.
19. Figuras rectilíneas son las comprendidas por rectas, triláteras las comprendidas por tres, cuadriláteras las comprendidas por cuatro, multiláteras las comprendidas por más de cuatro rectas.
20. De entre las figuras triláteras, triángulo equilátero es la que tiene los tres lados iguales, isósceles la que tiene sólo dos lados iguales, y escaleno la que tiene los tres lados desiguales.
21. Además, de entre las figuras triláteras, triángulo rectángulo es la que tiene un ángulo recto, obtusángulo la que tiene un ángulo obtuso, acutángulo la que tiene los tres ángulos agudos.
22. De entre las figuras cuadriláteras, cuadrado es la que es equilátera y rectangular, rectángulo la que es rectangular pero no equilátera, rombo la que es equilátera pero no rectangular, romboide la que tiene los ángulos y lados opuestos iguales entre sí, pero no es equilátera ni rectangular; y llámense trapecios las demás figuras cuadriláteras.
23. Son rectas paralelas las que estando en el mismo plano y siendo prolongadas indefinidamente en ambos sentidos, no se encuentran una a otra en ninguno de ellos.

### POSTULADOS

1. Postúlese el trazar una línea recta desde un punto cualquiera hasta un punto cualquiera.
2. Y el prolongar continuamente una recta finita en línea recta.
3. Y el describir un círculo con cualquier centro y distancia.
4. Y el ser todos los ángulos rectos iguales entre sí.
5. Y que si una recta al incidir sobre dos rectas hace los ángulos internos del mismo lado menores que dos rectos, las dos rectas prolongadas indefinidamente encontrarán en el lado por el que están los (ángulos) menores que dos rectos.

### NOCIONES COMUNES

1. Las cosas iguales a una misma cosa son también iguales entre sí.
2. Y si se añaden cosas iguales a cosas iguales, los totales son iguales.
3. Y si de cosas iguales se quitan cosas iguales, los restos son iguales.
4. Y las cosas que coinciden entre sí son iguales entre sí.
5. Y el todo es mayor que la parte.

## *Los axiomas de Euclides para la geometría* (EN TÉRMINOS ACTUALES)

### Postulados

1. (Es posible) trazar una línea recta desde cualquier punto a cualquier otro.
2. (Es posible) prolongar continuamente en línea recta una recta dada.
3. (Es posible) trazar un círculo con cualquier centro y distancia (radio).
4. Todos los ángulos rectos son iguales entre sí.
5. Si una recta incide sobre otras dos formando del mismo lado ángulos internos menores que dos rectos, al prolongarlas indefinidamente se encontrarán por el lado en que los ángulos sean menores que dos rectos.

### Nociones comunes

1. Cosas que son iguales a una misma cosa son también iguales entre sí.
2. Si a cosas iguales se suman cosas iguales, los totales son iguales.
3. Si a cosas iguales se restan cosas iguales, los restos son iguales.
4. Cosas que encajen cada una en la otra son iguales entre sí.
5. El todo es mayor que la parte.

### Observaciones:

1. El postulado 5 puede ser reformulado como  
5\*. Dado una línea recta y un punto exterior a ella puede trazarse una única línea paralela a la recta dada que pase por ese punto.

## EN LENGUAJE NATURAL

### *Los axiomas de Peano para la aritmética*

Los axiomas de Peano (debidos en realidad a Richard Dedekind) tal como fueron escritos (en latín) originariamente son:

- (1) 1 es un número natural.
- (2) El sucesor inmediato de un número natural también es un número natural.
- (3) 1 no es el sucesor inmediato de ningún número natural.
- (4) Dos números naturales distintos no tienen el mismo sucesor inmediato.
- (5) Toda propiedad verificada por 1 y por el sucesor inmediato de todo número que también verifique esa propiedad, es verificada por todos los números.

En términos matemáticos los axiomas suelen expresarse de este modo (donde la letra  $S$  representa al sucesor inmediato de un número, y  $S(n)$  debe pensarse como el número que sigue a  $n$ , es decir,  $n+1$ ):

- (1) 1 es un número natural.
- (2) Si  $n$  es un número natural,  $S(n)$  es un número natural.
- (3) No existe  $n$  tal que  $S(n) = 1$ .
- (4) Si  $n \neq m$ , entonces  $S(n) \neq S(m)$ .
- (5) Si  $P$  es una propiedad tal que 1 verifica  $P$  y vale que si  $n$  verifica  $P$ , entonces también  $S(n)$  verifica  $P$ , puede concluirse que todo número natural verifica  $P$ .

## EN LENGUAJE FORMALIZADO (CÁLC. PREDICADOS)

Los cinco axiomas de Peano son:

$$\begin{aligned}A_1 &: N(1) \\A_2 &: \forall x(N(x) \rightarrow N(x')) \\A_3 &: \neg \exists x(N(x) \wedge 1 = x') \\A_4 &: \forall x \forall y((N(x) \wedge N(y) \wedge x' = y') \rightarrow x = y)\end{aligned}$$

Dos variantes del 5º axioma: en lógica de primer orden ( en realidad un esquema de axioma).

$$A_5: \phi(1) \wedge \forall x((\phi(x) \rightarrow \phi(x')) \rightarrow \forall x \phi(x))$$

En lógica de segundo orden:

$$A'_5: \forall \phi(\phi(1) \wedge \forall x((\phi(x) \rightarrow \phi(x')) \rightarrow \forall x \phi(x)))$$

Además dos definiciones, de la suma y de la multiplicación, que a veces se presentan como axiomas.

- Definiciones de suma y multiplicación:

$$D_1: \begin{aligned}n + 1 &= n' \\n + m' &= (n + m)'\end{aligned}$$

$$D_2: \begin{aligned}n \times 1 &= n \\n \times m' &= (n \times m) + n\end{aligned}$$

- Axiomas de la suma y de la multiplicación:

$$A_6: \begin{aligned}\forall n(n + 1 &= n') \\ \forall n \forall m(n + m' &= (n + m)')\end{aligned}$$

$$A_7: \begin{aligned}\forall n(n \times 1 &= n) \\ \forall n \forall m(n \times m' &= (n \times m) + n)\end{aligned}$$



# AXIOMATIZACIÓN DE LA TEORÍA DE CONJUNTOS

## La teoría de conjuntos de Zermelo-Fraenkel

La teoría se formula en la lógica de primer orden con identidad y tiene un símbolo de relación binario  $\in$ . Los axiomas son los siguientes:

- (1)  $\forall x \forall y (x = y \leftrightarrow (\forall z (z \in x \leftrightarrow z \in y)))$  (Extensionalidad)  
Intuitivamente, los conjuntos  $x$  e  $y$  son iguales si sólo si  $x$  e  $y$  tienen los mismos elementos.
- (2)  $\exists x \forall y (\neg y \in x)$  (Conjunto vacío)  
Intuitivamente, existe un conjunto sin elementos. Puede probarse que es único con esta propiedad y se lo denota  $\emptyset$ .
- (3)  $\forall x \exists y \exists z (u \in z \leftrightarrow u = x \vee u = y)$  (Pares)  
Intuitivamente, si  $x$  e  $y$  son conjuntos, también es un conjunto  $\{x, y\}$ .
- (4)  $\forall x \exists y \forall z (z \in y \leftrightarrow (\exists w (z \in w \wedge w \in x)))$  (Uniones)  
Intuitivamente, si  $x$  es un conjunto, entonces también es un conjunto  $\cup x$ .
- (5)  $\forall x \exists y \forall z (z \in y \leftrightarrow (\forall w (w \in z \rightarrow w \in x)))$  (Conjunto de las partes)  
Intuitivamente, si  $x$  es un conjunto, también es un conjunto el que tiene por elementos a todos los subconjuntos de  $x$ .
- (6)  $\exists x (\exists y (y \in x) \wedge \forall y (y \in x \rightarrow \exists z (y \in z \wedge z \in x)))$  (Infinito)  
Intuitivamente, existen conjuntos infinitos. En particular, consideremos los siguientes conjuntos:  
 $\emptyset$ , que llamamos «0»  
 $\{\emptyset\}$ , un conjunto con un solo elemento, que llamamos «1»  
 $\{\emptyset, \{\emptyset\}\}$ , un conjunto con dos elementos, que llamamos «2»  
 $\{0, 1, 2\}$ , un conjunto con tres elementos, que llamamos «3»  
 $\{0, 1, 2, 3\}$ , que llamamos «4»  
 etcétera.  
 El conjunto  $\{0, 1, 2, 3, 4, \dots\}$  satisface la condición del axioma: es no vacío, y para cada elemento  $n$  del conjunto, hay otro  $(n+1)$  tal que  $n+1$  pertenece al conjunto y  $n$  pertenece a  $n+1$ .

Este axioma postula la existencia de un conjunto infinito actual, dado «todo a la vez».

- (7)  $\forall x (\exists y (y \in x) \rightarrow \exists y (y \in x \wedge \neg \exists z (z \in y \wedge z \in x)))$  (Regularidad)  
Intuitivamente, todo conjunto no vacío es disjunto de alguno de sus elementos.
- (8)  $\forall x (\exists! z \phi(x, z, u, v_1, \dots, v_n) \rightarrow \exists y \forall z (z \in y \leftrightarrow \exists x (x \in u \wedge \phi(x, z, u, v_1, \dots, v_n)))$   
(Reemplazo) donde  $\phi$  es una fórmula en la que la variable  $y$  no ocurre y  $\exists! z$  significa «hay un único  $z$ ».  
Intuitivamente, si  $F(x)$  es el único  $z$  tal que satisface  $\phi(x, z, \dots)$ , entonces  $\{F(x) : x \in u\}$  es un conjunto.

En la teoría de Zermelo-Fraenkel, gracias al axioma (6) de infinito, puede probarse la consistencia de la aritmética. Los números naturales se obtienen como

$0 = \emptyset$   
 $1 = \{\emptyset\}$   
 $2 = \{\emptyset, \{\emptyset\}\}$   
 $3 = \{0, 1, 2\}$   
 $4 = \{0, 1, 2, 3\}$   
 etcétera.

## BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES

- Nilsson, I.A. cap.1
- Russel-Norvig, I.A. Cap .1
- Stemberg (ed.) *Handbook of Intelligence*, Cambridge U. Press 2000
- Trillas, La I.A. y su entorno conceptual, en: La ciencia en tus manos, Espasa 2001
- <http://www.turing.org.uk/turing/>
- <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai/> (Artículos: What is A.I.?)
- Copeland, *The essential Turing*, Oxford University Press 2004
- Davis, *La computadora universal .De Leibniz a Turing*, Debate 2002
- Chris Dixon, *How Aristotle created the computer*, The Atlantic 2017
- Eco, *El sueño de la lengua perfecta*,
- Gómez Pereira, *Antoniana Margarita*, (Medina del Campo 1554)
- <http://www.filosofia.org/cla/per/1993band.htm>
- [http://symploke.trujaman.org/index.php?title=G%F3mez Pereira](http://symploke.trujaman.org/index.php?title=G%F3mez_Pereira)
- Gödel, *Obras completas*, Alianza 1989
- Graubard (comp.), *El nuevo debate sobre la Inteligencia Artificial*, Gedisa 1999
- Gustafsson, *El extraño animal del norte*, Anaya-M. Muchnik 1992
- Feynman, *Conferencias sobre computación*, Crítica 2003
- Shane Legg & Marcus Hutter, *Universal intelligence: a definition of Machine Intelligence* <https://arxiv.org/pdf/0712.3329.pdf>
- Minsky, *La máquina de las emociones*, Debate 2010
- Mosterín, *Los lógicos*, Espasa 2000
- Martínez-Piñero, *Gödel para todos*, Seix Barral 2009
- R. de Soto-Trillas, *Algunos genios de la computación*, Universidad de León 2006
- Sotos Ochando, *Gramática de la lengua universal*, Madrid 1863
- Sánchez Vega, *Estudio comparativo del mecanicismo animal en Pereyra y Descartes*, en: <http://www.filosofia.org/cla/per/1954veg9.htm>
- Francisco Suárez, *De Anima* (Lyon, 1621)
- Francisco de Vallés, *De Sacra Philosophia* (1587)    N.B.: Suarez y Vallés (el divino Vallés, sepultado en la capilla de la universidad ) fueron profesores en Alcalá, estudiaron entre otras cosas el problema del automatismo animal, relacionado con el problema cuerpo-mente( ver <http://www.filosofia.org/cla/per/1993band.htm> ) Probablemente Vallés transmitió a Descartes ideas de Gómez Pereira que éste usó sin reconocer: compárese "Quidquid noscit est;

ergo sum" ( Gómez Pereira, *Antoniana Margarita*, 1554) con "Cogito, ergo sum" (Descartes, *Discurso del método* 1637 ) <http://www.filosofia.org/pereira.htm> <http://www.filosofia.org/cla/per/1954veg9.htm>