

JOSÉ LUIS VERDEGAY

INTELIGENCIA ARTIFICIAL  
PARA APRENDICES, ESCOLARES,  
NOVELES, PRINCIPIANTES Y  
PÚBLICO EN GENERAL

GRANADA  
2024

COLECCIÓN  
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN

**DIRECTOR DE LA COLECCIÓN**

José Luis Verdegay Galdeano. Prof. Emérito de la Universidad de Granada

**CONSEJO ASESOR DE LA COLECCIÓN**

Rafael Bello. Universidad Central de las Villas, Cuba

María del Carmen Benítez Ortuzar. Universidad de Granada, España

César Collazos. Universidad del Cauca, Colombia

Rosanna Costacuta. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina

Teresa Cruz Sánchez. Fundación Descubre, España

M.<sup>a</sup> Ángeles Martínez Sánchez. Universidad de Granada, España

Javier Mateos Delgado. Universidad de Granada, España

Belén Melián Batista. Universidad de La Laguna, España

Enrique Onieva Caracuel. Universidad de Deusto, España

Francisco Roca Rodríguez. Universidad de Jaén, España

Camino Rodríguez-Vela. Universidad de Oviedo, España

Rocío Celeste Romero Zaliz. Universidad de Granada, España

Antonio Silva-Neto. Universidad del Estado de Río de Janeiro, Brasil

© EL AUTOR

© UNIVERSIDAD DE GRANADA

ISBN: 978-84-338-7359-0. Depósito legal: GR./334-2024

Edita: Editorial Universidad de Granada

Campus Universitario de Cartuja. 18071 Granada

Telfs.: 958 24 39 30 – 958 24 62 20

web: editorial.ugr.es

Maquetación: CMD. Granada

Diseño de cubierta: Tarma. Estudio Gráfico

Imprime: Gráficas La Madraza, S.L. Albolote. Granada

*Printed in Spain / Impreso en España*

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

# Contenido

PRÓLOGO .....	9
INTRODUCCIÓN.....	13
0. Una nueva sociedad .....	17
1. Aproximación a la inteligencia .....	19
1. ¿Cómo se ha definido la inteligencia artificial a través del tiempo?.....	24
2. ¿Qué se entiende hoy día por inteligencia artificial?.....	31
2.1. ¿Qué es un sistema?.....	32
2.2. ¿Qué es un ecosistema TIC? .....	33
2.3. ¿Qué es un algoritmo? .....	35
2.4. IA general (fuerte) e IA especializada (débil).....	38
2.5. Definición actual de IA .....	40
3. Sistemas basados en IA .....	44
3.1. Sistemas de Ayuda a la Decisión .....	45
3.2. Sistemas Expertos .....	49
5. Breve historia de la IA .....	55

8. Metodologías y técnicas de la IA . . . . .	68
8.1. Aprendizaje automatizado . . . . .	68
8.1.1. Aprendizaje profundo (Deep Learning) . . . . .	69
8.1.2. Aprendizaje supervisado . . . . .	76
8.1.3. Aprendizaje no supervisado . . . . .	76
8.1.4. Aprendizaje por reforzamiento . . . . .	77
8.1.5. Aprendizaje semi-supervisado . . . . .	77
8.2. Razonamiento automatizado . . . . .	78
8.2.1. Planificación automatizada . . . . .	79
8.2.2. Toma de decisiones automatizada . . . . .	82
8.2.3. Representación del conocimiento y razonamiento . . . . .	85
8.3. Robótica . . . . .	88
13. Epílogo. Últimas consideraciones . . . . .	93
BIBLIOGRAFÍA . . . . .	97

## Prólogo

La inteligencia artificial (IA) ha entrado en nuestras vidas apenas sin darnos cuenta pero de forma persistente, tal que, hay muchas actividades de nuestras vidas, tanto lúdicas (hacer turismo, escuchar música, ver una película, etc.) como simples actividades cotidianas (como hacer la compra, hablar con nuestros amigos y familiares, ir al médico) o laborales (en la banca, en la enseñanza, en sanidad, en construcción, etc.), que han cambiado drásticamente en los últimos años y que ya no sabríamos hacerlas sin el soporte de algún dispositivo o sistema basado en IA. Podemos afirmar que hay un antes y un después en nuestras vidas con la llegada de la IA, ya nada será igual. Incluso, podemos afirmar que no sabemos como será el futuro de nuestras vidas debido al fuerte impacto que observamos que la IA está teniendo en estos momentos y que presumiblemente va a tener en el futuro de nuestro mundo. Hay muchos interrogantes que se abren: ¿están en riesgo muchos empleos tal y como los vemos hoy?, ¿vamos a tener sistemas de IA que sean capaces de comportarse en su

totalidad como un ser humano?, ¿seremos capaces de controlar el uso negligente de los sistemas IA, como la desinformación?, ¿la IA es una oportunidad de avanzar y ganar en calidad de vida o es un problema?, ¿podrá la IA ayudarnos a encontrar mejores soluciones para paliar problemas de salud, de sequía...?, ¿nos ayudará la IA a ser más felices?, ¿estamos en manos de las grandes corporaciones que están desarrollando los modelos más avanzados de IA?, ¿qué deben hacer los gobiernos para no perder el control de la IA y garantizar un uso responsable de la IA?, etc...

La Universidad de Granada cuenta con grupos de investigación muy fuertes en temas de IA y su aplicación, con gran relevancia científica en el campo de IA tanto por sus trabajos científicos como por los proyectos de investigación básica y aplicada que desarrollan. Así se pone de manifiesto en muchos ranking internacionales como el Shanghái Ranking así como en el reconocimiento científico internacional de su Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación. Esta fortaleza en IA está permitiendo desarrollar en los últimos años en Granada un importante ecosistema tecnológico en IA con empresas internacionales, nacionales y locales que están colaborando junto con la Universidad de Granada y que están decidiendo desarrollar desde Granada un amplio conjunto de proyectos de IA en múltiples áreas.

Por todo ello, en la Universidad de Granada y su Editorial se ha creído oportuno la creación de una colección de TIC y que esta colección vea la luz con un

primer libro sobre IA, que arroje luz y conocimiento sobre todos los interrogantes y posibilidades que rodean al mundo de la IA. Creemos que es un compromiso de la Universidad ayudar a la sociedad a entender mejor este fenómeno, con idea de reducir las incertidumbres que aparecen, y con el reto de aportar en esta colección argumentos y fundamentos que hagan entender mejor este mundo de la IA. Por ello este libro se ha escrito con la vocación de ser lo más divulgativo posible y apto para todos los públicos.

Quisiera agradecer al Catedrático de Ciencias de la Computación e IA de la Universidad de Granada, D. José Luis Verdegay Galdeano, que haya aceptado escribir este libro sobre IA para noveles. El Dr. Verdegay es uno de los investigadores referentes nacionales e internacionales en el desarrollo de Sistemas Inteligentes. Fundador de nuestro Departamento de Ciencias de la Computación e IA e impulsor de los estudios de Informática e IA en nuestra Universidad, atesora una gran reputación en la comunidad científica nacional e internacional de IA. Ha sido profesor invitado en múltiples universidades, conferenciante en multitud de congresos nacionales e internacionales sobre IA, ha dirigido y dirige numerosos proyectos sobre IA y su aplicación, ha publicado innumerables artículos científicos sobre IA en revistas internacionales y congresos, ha sido director de tesis y de carreras científicas de muchos de los más brillantes profesores e investigadores en IA que hoy tenemos en la Universidad de Granada, en España y en el Mundo, y ha recibido numerosos reconocimientos científicos

como el de Doctor Honoris Causa por la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (Cuba). A lo largo de su carrera universitaria, su compromiso con nuestra Universidad ha sido total, tanto desde su actividad diaria como profesor en los estudios de Informática, como siendo director del Departamento de Ciencias de la Computación e IA durante muchos años, como coordinador de relacionales internacionales para Latinoamérica, y más recientemente como Vicerrector de TIC. En fin, creo firmemente que este libro de IA se va a convertir en un buen manual para entender de forma sencilla el mundo de la IA que nos rodea, va a ser muy útil para guiar a la gente en este mundo de la IA y va a conseguir con creces reducir las incertidumbres que hoy acechan al mundo de la IA.

Por aceptar este reto, por invitarme a hacer este prólogo, pero muy especialmente, por haber sido mi profesor, mi director de tesis, y mi amigo, y haberme acompañado e impulsado a desarrollar mi carrera universitaria,

¡GRACIAS CURRO!

ENRIQUE HERRERA VIEDMA  
Vicerrector de Investigación y  
Transferencia del Conocimiento  
Catedrático de Ciencias de la Computación e IA  
Universidad de Granada



## Introducción

No hay duda de que nuestro modo de vida está siendo influenciado por los algoritmos y la inteligencia artificial, y por tanto que nuestro destino parece depender de ellos. Su presencia es constante en los medios, en nuestras conversaciones y en las redes sociales. Las noticias relacionadas con estos temas nos generan preocupación y temor, llegando incluso a sembrar desconfianza. Se habla con certeza acerca de su impacto y consecuencias, pero a menudo eso se hace con un conocimiento limitado, creando escenarios poco realistas o difíciles de justificar desde el punto de vista científico.

La situación no es nueva. Mirando un poco atrás, no hace mucho tiempo, eran muy frecuentes en los medios de comunicación los titulares catastrofistas que culpaban a la Informática de todo lo malo que ocurría, incluso de lo (presuntamente) malo que estaba por llegar. En estos casos, se culpaba al programa informático en lugar de responsabilizar al usuario o al gestor (recordemos el famoso “Efecto 2000” o el caso de

manipulación del software de control de emisiones de gases contaminantes en Volkswagen). Aunque hoy en día estos titulares han disminuido, han surgido otros similares pero centrados en los algoritmos. Pero ahora, en lugar de referirse a hechos ocurridos, buscan prever el futuro, generalmente de manera alarmista, advirtiéndonos sobre la pérdida de empleo, las consecuencias de sus decisiones y la irresponsabilidad de sus acciones, entre otros aspectos. Resulta curioso que, a pesar de la creencia generalizada en el ámbito tecnológico de que cualquier tiempo pasado fue peor, al hablar del futuro de la mano de la inteligencia artificial y los algoritmos, la perspectiva se torna incierta, sombría y, en última instancia, pesimista, llegando al extremo de preferir el presente tal como está, a pesar de la incoherencia de tener que defender que cualquier tiempo pasado fue mejor.

Seguramente la justificación de estos dramáticos vaticinios haya que encontrarla en la falta de formación científico-tecnológica que muestra nuestra sociedad, y algunos de sus portavoces, ante materias que cada día producen nuevos avances que hacen antiguos los descubrimientos del día anterior, y por tanto producen un vértigo que nos amedraña porque no nos da tiempo a asimilarlos, empujándonos al rincón del conformismo con lo que ya conocíamos antes.

Pero no tenemos que renunciar a los nuevos adelantos que nos proporciona la tecnología en general, y la inteligencia artificial en particular. Lo que interesa es que la disrupción que puede producir la inteligencia artificial sea tan poco perjudicial como sea posible,

para lo que lo mejor es disponer de herramientas que nos ayuden a convivir con ella sacándole el máximo beneficio. Hasta la fecha, la Ciencia ha sido el motor del progreso social y no hay argumentos para pensar que eso no siga siendo así con la inteligencia artificial, con los algoritmos y con todas las aplicaciones basadas en la tecnología. Solo necesitamos por tanto comprender la Ciencia o lo que es lo mismo, tener una mejor formación en el campo que aquí nos interesa.

Federico García Lorca en el discurso que pronunció en la inauguración de la biblioteca de Fuente Vaqueros en 1931 dijo: «Bien está que todos los hombres coman, pero que todos los hombres sepan. Que gocen todos los frutos del espíritu humano porque lo contrario es convertirlos en máquinas al servicio del Estado, es convertirlos en esclavos de una terrible organización social». En ese sentido, y materializando una de las actividades esenciales de la Universidad, como es la de la formación y la difusión del conocimiento a la sociedad, se presenta esta colección dirigida a todas aquellas personas interesadas en conocer mediante un lenguaje sencillo pero riguroso, los fundamentos de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, centrándonos en este primer texto en las bases de la inteligencia artificial, para contribuir a incentivar las acciones formativas sobre esa materia en todos los ámbitos sociales y niveles educativos, como garantía de conocimiento de riesgos y oportunidades y como seguro ante la disrupción que pueda provocar esta tecnología en el mercado de trabajo y la economía.

Esas bases teóricas, complementadas con la descripción de ejemplos y aplicaciones sencillas, se presentan a través de una sucesión de secciones que abordan diferentes aspectos, comenzando con una aproximación al concepto de inteligencia para, a partir de él, analizar cómo se ha definido la inteligencia artificial a través del tiempo, hasta llegar a lo que se entiende hoy día que es. Así mismo se explican los diseños más relevantes para los sistemas basados en inteligencia artificial y se describen los más importantes logros alcanzados a través del tiempo, para finalizar con las metodologías y técnicas más empleadas en la actualidad, causa en muchas circunstancias de la prevención que mostramos ante esta tecnología.

Este texto nunca podría haber visto la luz de no contar con la ayuda y el ánimo constante de la Directora de la Editorial Universidad de Granada, Maribel Cabrera, del Vicerrector de Investigación y Transferencia de la Universidad de Granada, Enrique Herrera Viedma, de todos los miembros del Grupo de Investigación sobre Modelos de Decisión y Optimización: Marcelino Cabrera, Carlos Cruz, Maite Lamata, Pavel Novoa y David Pelta y de Leonardo Bigollo, también conocido como Fibonacci, por no reclamarme sus derechos de autor por utilizar los números de su sucesión, la célebre Sucesión de Fibonacci, para numerar las secciones de este libro.

*José Luis Verdegay*  
Granada, diciembre de 2023

## **0. Una nueva sociedad**

De manera tan silenciosa como rápida la inteligencia artificial (IA) se ha introducido en nuestras vidas y es omnipresente. Así, robots aspiradores, asistentes de navegación y automoción, asistentes virtuales, sistemas de recomendación de productos para el consumo diario o de diagnóstico de enfermedades cuentan con tecnologías que usan IA, produciendo unos cambios tan bruscos en nuestra habitual forma de vida, que nos impulsan hacia una nueva sociedad que exige transformaciones, urgentes y bien meditadas, para poder convivir con los nuevos modos que establecen esos sistemas basados en IA.

Miremos a donde miremos encontramos debates, artículos de prensa, manifiestos, reglamentos, etc. que pretenden establecer la mejor forma de convivir con esta tecnología para prever nuestro futuro en función de ella y, consiguientemente, desarrollar modelos, estrategias y programas de actuación que, en muchos casos, perjudican más que benefician.

En la actualidad una persona que tenga una formación sólida en IA, entendiendo por tal que sea capaz

de diseñar algoritmos correctamente, que conozca las diferentes tecnologías que abarca la materia y pueda empezar a producir sistemas verdaderamente basados en IA, que resuelvan los problemas para los que se les ha diseñado, no consigue ese nivel en menos de 5-7 años (4 de grado, 1 de preparación del Trabajo de Fin de Grado y un mínimo de 2 para especializarse en IA, incluyendo por ahora ahí a la Ciencia de Datos o la Robótica). Estas personas, ahora sí, con una muy buena formación, pueden incorporarse al mercado laboral con garantías de éxito para contribuir a la mejora social.

Pero claro, para mejorar la sociedad en el sentido que aquí venimos hablando, es necesario que esa sociedad sepa cuál es el punto en el que se encuentra y tenga capacidad suficiente para discernir entre las distintas opciones (diferentes sistemas presuntamente basados en IA) que se le puedan ofrecer para “mejorar” su vida. Para ello es imprescindible que la ciudadanía, toda la ciudadanía, esté bien formada, es decir, sepa lo que es la IA, tenga acceso a ella y pueda utilizarla. Porque si no, esa ciudadanía, el 99% de nuestra sociedad, tendrá que creerse lo que le cuenten y por tanto estará en manos de quienes diseñan, fabrican y ponen en el mercado los productos basados en IA, ya estén basados en esa tecnología verdaderamente o basados en metodologías estándares ajenas al ámbito de la IA.

El problema es formidable, porque nos jugamos ni más ni menos que el futuro de nuestra sociedad si sigue, como va a seguir, la imparable invasión en nuestra forma de vida de la IA. Sin embargo, a botepronto,

la solución parece bien sencilla: necesitamos antes de nada saber lo que es la IA, como se define IA. A partir de ahí, seguro que podemos empezar a distinguir si aquel aparato que compré es un Sistema de Ayuda a la Decisión, un Sistema Experto o un Sistema Automatizado de Decisión que fue entrenado con una red neuronal por un grupo de *hackers* maliciosos o por un equipo de profesionales expertos en IA. Planteemos pues el problema y abordemos su solución.

## 1. Aproximación a la inteligencia

Dice el refranero español que “por el humo se sabe dónde está el fuego”. Parece lo más lógico que para poder entender lo que es la IA veamos que es la inteligencia, porque entonces tendremos la mitad del camino recorrido.

La primera definición científica del concepto, en realidad de lo que es un ser inteligente, sobre la que hay referencias es de H.A. Taine y se remonta a 1875 [Tai]. La definición («El ser inteligente, ya sea hombre o animal, suple sus necesidades, conserva su vida y mejora su condición, con el único objetivo de lograr acoplar correctamente su presente con su futuro próximo o incluso lejano») ha quedado muy desfasada, pero fue muy relevante en su momento y abrió una dinámica vía de trabajo que se mantiene hasta la actualidad, ya que se trata de una noción tan polifacética como subjetiva. Y es que somos capaces de calificar conductas y personas

objetivamente, con argumentos que defendemos porque creemos que son imparciales, justos y porque funcionan bien en otras situaciones, pero que a la hora de la verdad, es decir, cuando los aplicamos a nuestro caso particular, dejan de ser objetivos, adecuados y seguros, porque todos creemos que sin excepción lo nuestro es lo mejor. Como consecuencia, surgen muchas definiciones de inteligencia, porque cada cual quiere que prevalezca su concepción de lo que es ser inteligente.

Sin embargo, en [Leg] puede encontrarse una colección de más de 70 definiciones de inteligencia, en cualquier caso bien fundadas y justificadas, que demuestra la imposibilidad práctica de definir de manera consensuada ese concepto. Un concepto que ha sido y es objeto de debate y estudio en diversas disciplinas como la Psicología, la Filosofía y la Neurociencia, pero que sin embargo las personas manejamos con soltura, empleando y comprendiendo en nuestra vida diaria frases tan complejas como “con lo inteligente que eres para algunas cosas; para otras no distingues el so del arre” o “su arte es genial, pero nunca fue a una escuela”, y tantas otras.

Todo esto sugiere que quizás lo que entendemos por inteligencia, o lo que es lo mismo, el concepto de inteligencia no sea único, es decir, no haya una única forma de ser inteligente. En esa línea va la teoría de las inteligencias múltiples del psicólogo estadounidense Howard Gardner, para el que «la inteligencia es la capacidad de resolver problemas o elaborar productos que sean valiosos en una o más culturas» [Gar].



Gardner identificó varios tipos de inteligencias, que van más allá de la tradicional noción de inteligencia medida por pruebas que determinan un coeficiente intelectual. Algunos de los tipos de inteligencia que propuso son los siguientes:

- La Inteligencia Lingüística, que se refiere a la habilidad para usar el lenguaje de manera efectiva, tanto en la expresión oral como escrita. Las personas con una inteligencia lingüística desarrollada son buenos comunicadores, tienen facilidad para aprender idiomas, disfrutan de la lectura, la escritura y la retórica.
- La Inteligencia Lógico-Matemática, asociada con el razonamiento lógico, el pensamiento abstracto, la resolución de problemas matemáticos y la capacidad para reconocer patrones y relaciones numéricas. Las personas con esta inteligencia tienden a destacar en el ámbito de las matemáticas, la ciencia y el análisis lógico.
- La Inteligencia Espacial, entendida como la capacidad para percibir y manipular el espacio visual y mentalmente. Las personas con una fuerte inteligencia espacial pueden visualizar objetos y escenarios con facilidad, son hábiles en la navegación espacial y tienen talento para el arte, el diseño y la arquitectura.
- La Inteligencia Musical, que se identifica con la habilidad para apreciar, crear y comprender la

música. Las personas con una inteligencia musical desarrollada tienen un oído sensible para el tono, el ritmo y la armonía.

- La Inteligencia Interpersonal por su parte supone la capacidad para entender y relacionarse efectivamente con otras personas. Las personas con una inteligencia interpersonal desarrollada son empáticas, comprensivas y poseen habilidades sociales que les permiten interactuar con éxito en diferentes entornos sociales.
- La Inteligencia Naturalista se relaciona con la capacidad para reconocer y entender el mundo natural, incluyendo la flora, la fauna y los fenómenos naturales. Las personas con esta inteligencia pueden tener una afinidad especial por la naturaleza, ser buenas observadoras de los patrones naturales y tener habilidades en ciencias ambientales.
- La Inteligencia Existencial, también conocida como inteligencia espiritual o filosófica, se refiere a la capacidad para reflexionar sobre cuestiones profundas sobre la existencia, el significado de la vida y la conciencia de sí mismo. Las personas con esta inteligencia tienden a cuestionarse y reflexionar sobre temas filosóficos y espirituales.
- La Inteligencia Creativa, entendida como la capacidad que tiene una persona para generar

ideas novedosas y plantear soluciones originales y que por tanto permite desviarse de las vías habituales para encontrar nuevas fórmulas, ayudando así a resolver problemas.

Pero pueden considerarse más, como la Intrapersonal, la Corporal-Kinestésica, la Emocional, la Existencial, etc., sobre las que, junto con las anteriores, conviene destacar que no son mutuamente excluyentes, de modo que cada persona puede tener diferentes combinaciones y grados de desarrollo en estas áreas. La teoría de las inteligencias múltiples sugiere que las personas pueden destacar en diferentes áreas y que la educación y el desarrollo personal deberían tener en cuenta esta diversidad de habilidades y talentos.

Pero esta teoría ni es única, ni cierra el problema. Existen otras definiciones de inteligencia, ya que el tema sigue siendo objeto de estudio y debate en la comunidad científica. Pero entre todas ellas se ha abierto paso la de Marvin Minsky, que podríamos denominar descriptiva, según la cual la inteligencia no es más que la habilidad de resolver problemas difíciles [Min], y que permite, digamos, su particularización a cada área concreta que quisiéramos considerar, en el anterior sentido de Gardner, justificando la imposibilidad práctica de contar con una única definición de inteligencia y habilitando por el contrario escenarios flexibles y por tanto graduales, que permiten a cualquiera ser inteligente, pero en cierto grado.

A partir de esto, es decir, teniendo en cuenta que no hay una única definición de inteligencia, y que de haberla será gradual ¿tiene sentido plantearnos la definición de IA? La respuesta es rotundamente positiva porque necesitamos conocer qué son los sistemas basados en IA, responsables de la transformación social que se avecina de su mano, de modo que seamos capaces de discernir por nosotros mismos y no por lo que nos expliquen terceros.

## **1. ¿Cómo se ha definido la inteligencia artificial a través del tiempo?**

La historia de los computadores, no la de las máquinas de cálculo, no puede remontarse a tiempos anteriores a su existencia. Sin entrar en detalles, prolijos y estériles para los objetivos que aquí perseguimos, el nacimiento de la computación moderna se produce al principio de los años treinta del siglo pasado. La potencia de cálculo y por tanto las posibilidades que se entreveían para abordar problemas inatacables hasta aquellos años, sirvieron de catalizador para que los científicos de entonces, que constituyen sin duda la Generación de Oro de la Computación, comenzaran a plantearse si sería posible que aquellos computadores, aquellos sistemas de cálculo, igual que resolvían problemas mucho mejor que las personas, pudieran llegar a razonar, y por tanto pensar como las personas, es decir, empezaron a vislumbrar una evolución de las