

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

área de conocimiento concreto.

En las siguientes lecciones nos introduciremos en todos ellos de forma que veamos la utilidad en el entorno empresarial actual de la inteligencia artificial. En esta lección vamos a trabajar el primero de los enfoques de los sistemas de IA en la construcción de sistemas de resolución de problemas (en el siguiente se trabajará fundamentalmente en el aprendizaje automático y su aplicación a la toma de decisiones, predicción y prescripción).

A continuación, presentamos las definiciones que la Real Academia Española de la Lengua da a los términos ‘sistema’, ‘inteligencia’ e ‘inteligencia artificial’.

Definición Sistema

Conjunto de elementos que ordenadamente relacionados entre sí contribuyen a un determinado objetivo. Denotamos como entorno a lo que rodea al sistema.

Definición Inteligencia

Capacidad de entender o comprender. || Capacidad de resolver problemas. || Conocimiento, comprensión, acto de entender. || Sentido en que se puede tomar una sentencia, un dicho o una expresión. || Habilidad, destreza y experiencia.

Definición Inteligencia artificial

Desarrollo y utilización de ordenadores con los que se intenta reproducir los procesos de la inteligencia humana. || Conjunto de técnicas que, empleando la informática, permiten la realización de operaciones hasta ahora exclusivas de la inteligencia humana.

¿Por qué es importante la inteligencia artificial?

En su aplicación en el desarrollo de productos y soluciones para la empresa, podríamos decir que nos encontraremos **tres clases principales de sistemas**: los

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

informacionales, los transaccionales y los inteligentes. Es en los inteligentes en los que estaremos trabajando durante este máster, pero debemos entenderlos interactuando con los otros dos e incluso realizando tareas similares, pero por otros caminos.

Pero ¿qué aporta concretamente?

- ▶ **La inteligencia artificial automatiza el aprendizaje y descubrimiento por repetición a través de datos.** La IA para resolver problemas es diferente de la automatización que realizamos en los robots basada en hardware. No automatiza tareas manuales (podríamos decir ‘artesanales’), sino que la IA realiza tareas, por software, que son frecuentes con un alto volumen de datos y dando pasos de manera totalmente fiable (y sin cansarse, por supuesto). En ocasiones se le llama ‘automatización inteligente’ (*Intelligent Automation*). En este caso, la investigación humana sigue siendo fundamental en la configuración del sistema y la generación de las preguntas correctas.
- ▶ **La IA agrega inteligencia a productos existentes.** En la mayoría de los casos, la IA no es una aplicación individual, es decir, agrega valor a productos ya desarrollados y los mejora con recursos propios de la IA: algo así como el valor añadido que otorgó Siri a los productos de Apple cuando creó una nueva generación de estos. La automatización inteligente, las máquinas inteligentes y las plataformas conversacionales (en especial los bots) se pueden combinar con grandes cantidades de datos para mejorar muchas tecnologías de ámbito de empresa y de usuarios particulares, desde *Smart Security* hasta complejos análisis de las inversiones.
- ▶ **La IA se adapta a través de algoritmos de aprendizaje progresivo para permitir que los datos realicen la programación.** La IA busca patrones en los datos, encontrando estructura y regularidades de modo que el algoritmo adquiere una habilidad: el algoritmo se convierte en un predictor (regresor) o clasificador. Esto permite utilizar un mismo algoritmo para funciones muy variadas como puede ser aprender a jugar al ajedrez o a recomendar qué producto puede ser interesante

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

mientras veo otro. Ese algoritmo genera un modelo, y los modelos se adaptan cuando se les proveen nuevos datos dando una nueva respuesta a ese caso. La retropropagación es una técnica de IA que permite al modelo hacer ajustes, a través de capacitación y datos agregados, y mejorar cuando la primera respuesta no es del todo correcta.

- ▶ **La IA analiza más datos y datos más complejos y poco interrelacionados empleando redes neuronales artificiales que tienen muchas capas ocultas (deep learning).** Construir un sistema de detección de fraude con varias capas ocultas era casi una utopía hace unos años. Todo eso ha cambiado al aumentar la capacidad de cálculo y con el uso de herramientas **big data**. Es cierto que se necesitan muchos datos para entrenar modelos de aprendizaje profundo porque aprenden directamente de los datos y, por eso, cuantos más datos les pueda proporcionar, más precisos se vuelven. Pero donde faltan ha aparecido una tecnología con gran capacidad de aportar datos como es el **IoT**.
- ▶ **La IA es increíblemente precisa usando redes neuronales artificiales profundas** – algo imposible hace poco tiempo. Por ejemplo, las interacciones con Alexa, Google Search y Google Photos están todas basadas en deep learning – y mejoran la precisión cuanto más las usamos. Otro caso impactante es el uso en el campo de la medicina, en el que mediante técnicas de deep learning, clasificación de imágenes y reconocimiento de objetos podemos lograr precisión en la detección de cáncer en MRIs (imágenes de resonancia magnética) similar a la de radiólogos con muy alta capacitación.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

- ▶ **La IA saca el mayor provecho de los datos.** Cuando los algoritmos son de autoaprendizaje, los datos mismos pueden volverse de propiedad intelectual. La búsqueda de respuestas está en los mismos datos y es con IA como pueden explorarse. En un ‘mundo data driven’ como nunca, tanto la empresa como cualquier usuario dispone de una ventaja competitiva usando IA. En el caso de que usemos técnicas similares, si conseguimos los mejores datos, tendremos una posición de privilegio respecto a los demás.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

2.3. Modelos de sistemas de inteligencia artificial

El objetivo de este apartado es el de trabajar sobre una de las facetas que nos permite la IA: desarrollar sistemas que piensen como humanos. Un reto diario del ser humano es la resolución de problemas. En concreto, veremos cómo realizar la búsqueda de soluciones adoptando diferentes planteamientos. Es cierto que, según la tipología de problemas, existen acercamientos más apropiados que otros, pero en muchos casos se puede llegar a una solución por diferentes modelos.

Generalmente, la IA modela la resolución de problemas como un proceso de búsqueda a través de un conjunto o espacio de estados. Para definir el problema seguiremos este proceso:

- ▶ Definir una **representación** para los diferentes estados del problema.
- ▶ Determinar cuál es **estado inicial**.
- ▶ Determinar el **estado final meta** (puede ser explícito o las condiciones que tiene ese estado).
- ▶ Definir los **operadores**, reglas de transición o de movimiento que nos permiten transformar un estado del problema a otro.

Objetivo

Encontrar la secuencia de reglas (solución) que, aplicadas a una descripción del problema (que es el estado inicial), lo lleven a otra descripción (estado meta) buscando entre todos los estados posibles (espacio de estados) desde esas condiciones iniciales.

Operadores

En realidad, hablaremos de conjunto de acciones, operadores y reglas de transición (entre estados). Describiremos el modelo que se alcanza desde un estado concreto

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

cuando ejecutamos una acción. Cada acción utilizada tiene un coste (positivo) y eso nos permite medir.

Espacio de estados

Conjunto de estados del problema que pueden alcanzarse a partir del estado inicial, aplicando reglas de transición. En este sentido si, partiendo de un estado inicial, sumamos un conjunto de operadores que de forma secuencial (y válida) nos llevan a un estado final meta, estamos definiendo un modelo de sistema de IA para solucionar un problema.

No vamos a profundizar en el desarrollo teórico de la búsqueda de modelos, pero sí que os presentamos un problema sencillo para que veamos cómo se plantearía desde esta metodología.

El problema del puzzle

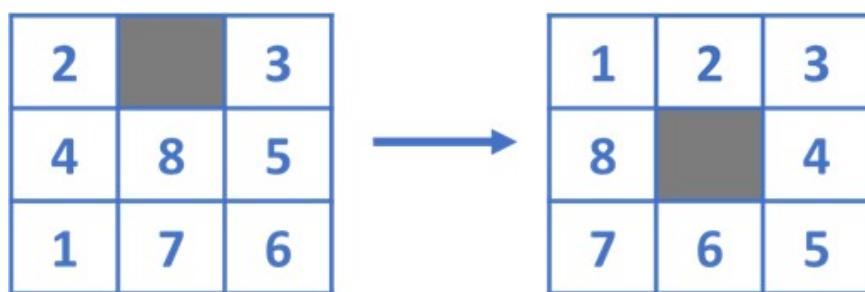


Figura 1. Problema del puzzle. Especificación gráfica del problema.

La especificación del problema es el primer paso. Buscamos llegar desde el estado inicial que conforma la imagen de la izquierda hasta la de la derecha, mediante el movimiento de un número hacia el hueco (que representa el cuadro V o vacío).

La representación de estados podría hacerse de dos formas:

Opción 1:

- Matriz 3x3 donde x_{ij} está en el conjunto $\{V, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

- ▶ El estado inicial es: {2,V,3,4,8,5,1,7,6}.
- ▶ El estado final meta es: {1,2,3,4,V,5,6,7,8}.

Opción 2:

- ▶ {Pos(2,x2,y2), Pos(V,x0,y0), Pos(3,x3,y3),...} con x_i, y_i dentro de {1,2,3}, i dentro de {0,1,2,...,8}
- ▶ El estado inicial es: {Pos(2,1,1), Pos(V,1,2), Pos(3,1,3), Pos(4,2,1),...}
- ▶ El estado final meta es: {Pos(1,1,1), Pos(2,1,2), (3,1,3), Pos(4,2,3),...} ...}

En este caso, los operadores de cada opción serían los siguientes:

- ▶ Opción 1: Mover cada ficha en cada una de las 4 direcciones: $8 \times 4 = 32$ reglas
- ▶ Opción 2: Mover el blanco en cada una de las 4 direcciones: 4 reglas

Los siguientes pasos determinarán la solución, pero debemos medir la eficiencia de nuestra estrategia de búsqueda de solución con los siguientes criterios:

- ▶ ¿Permite llegar a una solución?
- ▶ ¿Es una buena solución?
- ▶ Coste de la búsqueda: tiempo empleado y memoria.
- ▶ Coste total: coste de la búsqueda + coste del camino.

Este campo, interesante y complejo teóricamente, ha permitido plantear alternativas a diferentes problemas. En estos últimos años, el aumento de la capacidad de computación (sobre todo en la computación en la nube o cloud), las alternativas tecnológicas y el desarrollo de modelos predefinidos han conseguido economizar la creación de modelos nuevos como solución a múltiples problemas.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

A continuación, veremos las tres tipologías que nos permiten construir estos modelos en el campo de la IA.

Automatización de tareas

La automatización de tareas está en constante crecimiento en todos los ámbitos de la industria de desarrollo de software. El desarrollo de la IA está permitiendo solucionar un problema fundamental: hacer la vida más fácil y ayudar a otros a hacer lo mismo. En este sentido está apareciendo un nuevo concepto que se denomina *hiperautomatización* y que busca trasladar tareas rutinarias que realizan personas en el día a día de las empresas hacia sistemas automáticos. Pero es cuando entra la IA cuando solemos hablar de *automatización inteligente*.

Veamos los **beneficios inmediatos** de la automatización de tareas:

- ▶ Reducir los costos generales.
- ▶ Contribuir al aumento de la productividad.
- ▶ Aumentar la disponibilidad.
- ▶ Mejorar los esfuerzos de cualquier área de la empresa (precisión y fiabilidad).
- ▶ Mejorar el rendimiento en todos los departamentos.
- ▶ Mejorar el enfoque del problema, el impulso hacia la solución y la estrategia a seguir.

Por supuesto, dependiendo de la automatización de la tarea, aplicarán unos beneficios u otros. Nuestro planteamiento debe cubrir la necesidad, objetivos y los resultados de ambos.

En general, con la IA podemos trasladar a la empresa soluciones para optimizar sus esfuerzos de automatización de tareas, aumentar la rentabilidad y, en general, evitar la necesidad de tareas manuales repetitivas.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

Al igual que en todo el campo aplicado de la IA en la empresa, nuestro objetivo no es hacer algo (ya sea software, tecnología, etc.) para hacer el trabajo por nosotros, sino buscar hacer algo práctico y eficiente, esto es, hacer sistemas que nos ayuden a hacer el trabajo más rápido.

En realidad, la automatización de tareas existe en todo lo que hacemos. La tecnología ha facilitado el flujo de trabajo de tareas, pero, a medida que el mundo evoluciona y se vuelve más y más complejo, la necesidad de automatización de tareas también lo hace.

¿Qué es la automatización de tareas?

La definición simple de automatización de tareas es utilizar la tecnología para ayudar a completar cualquier tarea dada. La automatización de tareas, en este sentido, a menudo se describe como la eliminación de la necesidad de participación humana. Cuanto más pueda eliminar esa necesidad, más se podrá automatizar la tarea y se podrá mejorar el flujo de trabajo de la tarea.

Esto se manifiesta con mayor frecuencia en el software de automatización, pero hay muchos ejemplos de herramientas físicas que han ayudado a automatizar tareas. El mundo de la compra online es un ejemplo claro de cómo tareas físicas como eran la espera en cola, la compra de una entrada, la selección de los sitios, la búsqueda de nuestra ubicación en la sala, ahora mismo se hacen sin intervención (salvo necesidad) de empleados del cine. Esto es automatización de tareas.

Podemos ver este tipo de automatización del flujo de trabajo de tareas en muchas cosas de nuestro día a día. Siempre que hay una tarea que se hace más fácil, simplificada o se elimina el toque humano. Incluso en lo más mínimo existe la automatización de tareas.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

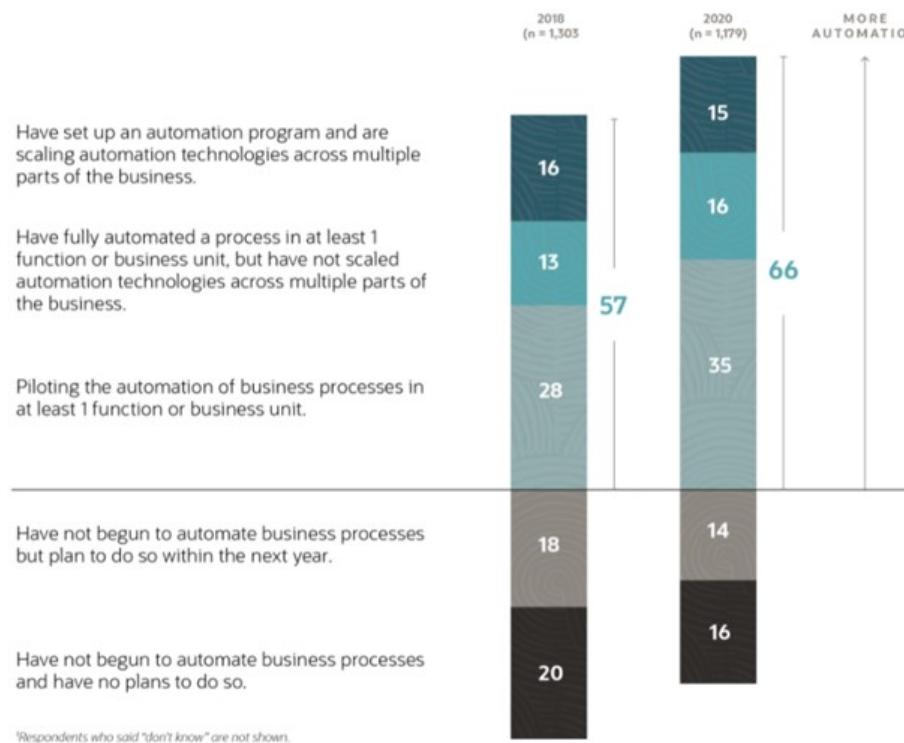


Figura 2. Resultados de encuesta para ver el nivel de automatización en la empresa. Fuente: Oracle NetSuite, 2020.

En la figura podemos ver cómo de integrado está este proceso en la empresa, pero es que, además, se trata de un proceso incremental continuo que aún tiene mucho camino por recorrer.

En este sentido, la IA aumenta las capacidades para la automatización de tareas. Los modelos de soluciones para la automatización de tareas permiten encontrar soluciones de gran alcance e incluso medir sus resultados.

¿Y qué es la automatización inteligente?

La automatización inteligente es un concepto muy actual que aprovecha una nueva generación de automatización basada en IA. Combina métodos y tecnologías que permiten la ejecución de tareas de forma automática que representan procesos de

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

negocio. Para ello debe conseguir imitar las capacidades que los trabajadores con más conocimiento utilizan para realizar sus actividades (p. ej. lenguaje, visión, ejecución y pensamiento y aprendizaje).

En este sentido, la **automatización inteligente** se utiliza para apoyar y precisar las tareas realizadas por pilotos, abogados, controladores financieros o agentes de centros de atención al cliente. Si lo asemejamos a las capacidades que tiene una persona, nuestro objetivo es crear ‘trabajadores digitales’ (soluciones de automatización) que imiten las acciones realizadas por los empleados en general (no tanto el trabajador operario manual que suele ‘automatizarse’ con robótica).

Para ofrecer una solución a un problema de negocio, como humanos llevamos a cabo procesos de negocio (que no es más que una sucesión de tareas) con el aprendizaje y la experiencia adquiridas con nuestras capacidades humanas. Las utilizamos para ver, oír, hablar, leer, entender, actuar, reaccionar y aprender. La **automatización inteligente se compone de una combinación de tecnologías que reproducen estas capacidades humanas** para mejorar procesos de negocio que requieren intervención humana por su conocimiento.

¿Qué tareas automatizar?

Por lo general, cuanto más repetitiva es la tarea, más necesita ser automatizada. Las tareas que tienen la misma entrada y salida se pueden automatizar fácilmente y, por lo tanto, deben serlo. Si nos encontramos con que hay una tarea que debe hacerse con frecuencia, entonces vale la pena automatizar y liberar tiempo para hacer otra cosa.

Pero ¿dónde reside la potencia de la automatización inteligente? Como indican Bornet, Barkin y Wirtz en su libro *Intelligent Automation: Learn how to harness Artificial Intelligence to boost business & make our world more human* nos encontramos dentro de un marco de cuatro capacidades que tratan de mimetizarse a

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

través de estos sistemas:

- 1. Visión**, como por ejemplo, ver el entorno, reconocer objetos y signos.
- 2. Ejecución**, como por ejemplo, escribir, hacer clic, completar formularios y autenticarse.
- 3. Lenguaje**, como por ejemplo, usar el lenguaje para leer, hablar, escribir e interactuar.
- 4. Pensar y aprender**, por ejemplo, analizar, crear información, predecir, tomar decisiones y ajustar.

Ahora recorreremos todas estas capacidades y las tecnologías desplegadas de forma que nos encontraremos tecnologías que son capaces de realizar una sola capacidad (podemos considerar que la robótica solo puede ejecutar), mientras que otras como el machine learning pueden dar soporte a varias, como son lenguaje, visión y aprendizaje.



Figura 3. Las cuatro capacidades de la automatización inteligente. Fuente: © Bornet et al., 2020.

Capacidad 1: Visión

Si bien esta capacidad permite que la percepción, interpretación y comprensión del mundo visual sean accesibles a computadoras, en el contexto de la automatización

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

inteligente ha desarrollado soluciones a problemas concretos como el procesamiento de documentos, imágenes, vídeos e incluso información biométrica. Está abriéndose mucho camino en el área sanitaria con el reconocimiento y diagnóstico automático de imágenes, o en el de seguridad para la identificación de delincuentes o acciones de riesgo, entre otros.



Example chest radiography images of COVID-19 cases from 2 different patients and their associated critical factors (highlighted in red) as identified by GSInquire.

Figura 4. Aplicación directa en la detección de Covid-19 por imagen. Fuente: Wang et al., 2020.

Las tecnologías de visión computerizada o *Computer Vision* han alcanzado niveles de madurez que han dejado atrás los pasos iniciales de codificación como un conjunto de reglas hasta el uso masivo de hoy en día de técnicas de deep learning.

Las principales aplicaciones de la automatización inteligente son:

- ▶ El reconocimiento óptico de caracteres (**OCR – Optical Character Recognition**).
- ▶ El reconocimiento inteligente de caracteres (**ICR**).
- ▶ El análisis de imágenes y vídeos.
- ▶ La biometría avanzada para la verificación de identidades.

Capacidad 2: Ejecución

L a ejecución (o acción) consiste en ‘hacer’, en realizar tareas que van completando un proceso completo paso a paso en entornos digitales como son servidores o computadoras. Hablamos de actividades del tipo: completar formularios,

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

escribir texto, enrutar información y autenticar usuarios.

Aquí están apareciendo procesos que automatizan muchas de las tareas diarias de administración que hacen uso de aplicaciones ofimáticas o sistemas de información de empresa, de forma que, de forma automática, inician y cierran sesión en los sistemas, compilan datos y preparan informes, concilian datos, envían correos electrónicos o realizar análisis de hojas de cálculo. Esta capacidad es una base para la entrega automatizada de procesos de negocio de extremo a extremo.

Esta capacidad permite unir las otras tres capacidades que estamos viendo, de forma que, si seguimos un ejemplo, puede apoyar la recopilación de datos a través de la visión o las capacidades del **lenguaje**: un informe histórico sobre las ventas de paraguas. Más adelante, puede transmitir estos datos a la capacidad de **pensar y aprender**, para crear información: analizar la correlación entre las ventas y el pronóstico meteorológico semanal.

Es evidente que crea conocimiento y que con esta información disponemos de una base para la toma de decisiones: diseñar campañas de promoción específicas durante las semanas lluviosas. Por último, puede ayudar a **ejecutar** una acción resultante: programar automáticamente estas promociones en los sistemas.

Podemos hablar de las siguientes tecnologías clave a la hora de desarrollar esta capacidad:

- ▶ **Workflow inteligente.**
- ▶ Las plataformas **low code**.
- ▶ La automatización robótica de procesos (**RPA – Robot Process Automation**).

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

Capacidad 3: Lenguaje

Cuando hablamos de esta capacidad nos referimos a la que **permite leer, hablar, escribir, interactuar, interpretar y derivar significado del lenguaje humano a las máquinas**. De este modo, conseguimos aumentar las interacciones lingüísticas con empleados, clientes, proveedores y colaboradores a través de diversos canales digitales, incluidos el teléfono, la mensajería y las interacciones con dispositivos inteligentes.

Ejemplos de aplicación son: la traducción de texto, la extracción de información, la síntesis o resumen de información, clasificar y categorizar la información (como sucede con los filtros de spam), el análisis de sentimientos, traslación voz a texto-texto a voz, la escritura predictiva de texto o la comprensión de voz.

Estudiaremos en detalle, en la unidad formativa correspondiente, toda esta tecnología denominada *procesamiento del lenguaje natural* (PNL). Aunque se suele aceptar que la generación es otra tecnología, la trataremos dentro de esta.

Nos encontramos ahora mismo con un desarrollo masivo de esta tecnología mediante deep learning.

Capacidad 4: Pensando y Aprendiendo

Esta capacidad **está muy relacionada con la toma de decisiones y toda la ciencia que hay detrás**. En base a los datos y la información de que se dispone, crea conocimiento y sabiduría mediante el análisis y la predicción. Permite mejorar el desarrollo de las tareas de los empleados, al proporcionar información que muestre con datos si sus acciones y decisiones están bien encaminadas.

También puede desencadenar procesos automatizados de actividades, como puede ser la alerta al área de fraude para investigar a un determinado cliente del que se han encontrado indicios de estar cometiendo actividades extrañas haciendo uso de

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

sistemas predictivos.

Detrás de esta capacidad nos encontramos con tecnologías clave como son:

- ▶ El **uso de big data** para la obtención de grandes cantidades de datos con la máxima calidad posible.
- ▶ El **aprendizaje automático** o machine learning: veremos cómo permite generar modelos de predicción.
- ▶ La **visualización de datos**, que facilita a las personas comprender problemas de forma gráfica y dar soluciones de forma rápida e intuitiva.

Estudiaremos ampliamente esta capacidad en este máster.

Sistemas basados en reglas

Los sistemas basados en reglas, dentro del campo de la informática, se utilizan para almacenar y manipular conocimiento que permita interpretar la información de una manera útil.

Hay muchos casos en los que podemos resolver situaciones complejas haciendo uso de reglas deterministas, de forma que el sistema automático resultante puede comportarse como personas expertas en un área especializada, por ejemplo, en sistemas de control de tráfico, en transacciones hipotecarias e, incluso, en el diagnóstico de enfermedades.

Muchos problemas encuentran soluciones altamente eficientes haciendo uso de sistemas basados en reglas, ya que en los sistemas expertos (que veremos más adelante en el módulo) son una de las metodologías más sencillas a emplear. En estos sistemas, el problema se define mediante las variables y conjunto de reglas que son la **base de conocimiento** de partida, y mediante un **motor de inferencia** se extraen conclusiones aplicando métodos de la lógica clásica en ella.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

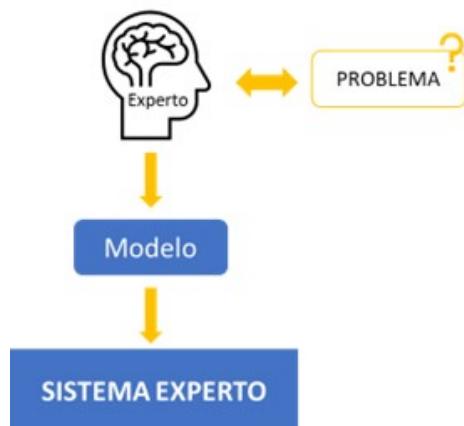


Figura 5. Enfoque de Sistemas Expertos en IA.

Una regla en este contexto es una proposición lógica que relaciona dos o más objetos del dominio. Consta de dos partes: la premisa y la conclusión, que se suele escribir normalmente como “Si **premisa**, entonces **conclusión**”. Cada una de estas partes es una expresión lógica con una o más afirmaciones objeto-valor conectadas mediante operadores lógicos (y, o, o no).

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

La siguiente figura es un ejemplo de las reglas que se podrían extraer de un sistema de cajero automático:

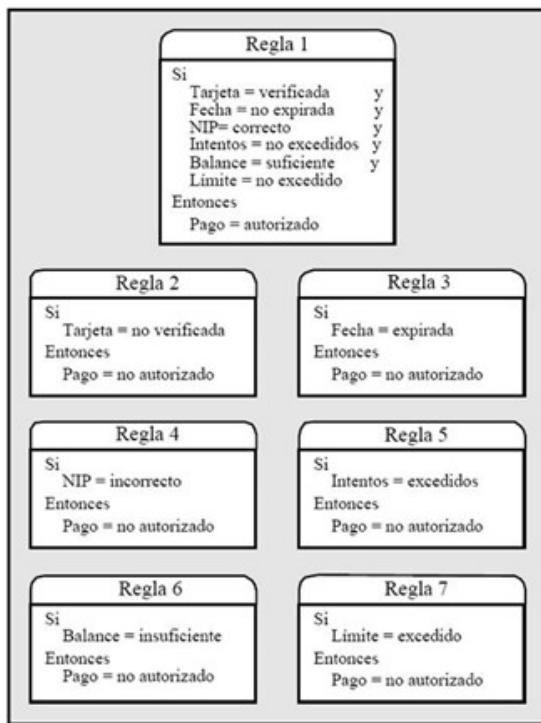


Figura 6. Ejemplo de sistema de cajero automático basado en reglas. Fuente: Departamento de CCIA de la Universidad de Sevilla, s.f.

Puedes ver una web con ejemplos de Sistemas Basados en reglas en [esta web](#).

Motor de inferencia

Las bases de conocimiento se conforman a partir de dos tipos de elementos básicos:

- ▶ **Los datos**, también denominados **hechos** o **evidencias**.
- ▶ **El conocimiento**, el conjunto de reglas que rigen las relaciones entre los datos.

Con toda esta información almacenada, solo falta aplicar un mecanismo para manipular automáticamente sus componentes y extraer conclusiones. Esto es lo que

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

denominamos **motor de inferencia**. Y aquí entramos en el ciclo virtuoso del dato, ya que conseguimos nuevas conclusiones que redundarán en un aumento de la base de conocimiento, iniciando así un ciclo nuevo más rico y completo.



Figura 7. Ciclo virtuoso del dato para la mejora en la toma de decisiones.

Para obtener conclusiones, se pueden utilizar diferentes tipos de reglas y estrategias de inferencia y control. Las más básicas y universales son la *Modus Ponens* y la *Modus Tollens*.

Son sistemas básicos de inferencia y encadenamiento de reglas hacia adelante y encadenamiento de reglas hacia atrás (orientado por objetivos).

El *Modus Ponens* y *Modus Tollens* se corresponden con los siguientes esquemas básicos de inferencia.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

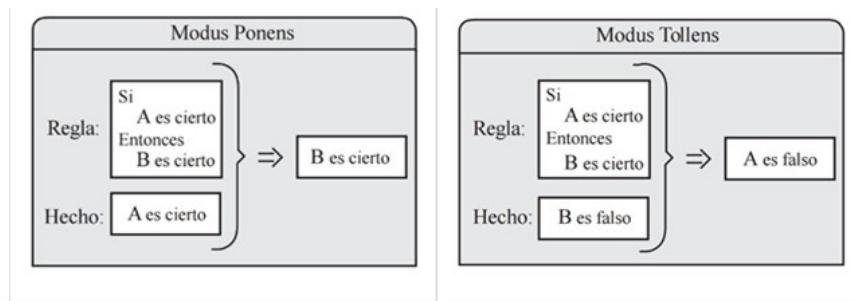


Figura 8. Esquema de Modus Ponens y Modus Tollens. Fuente: Departamento de CCIA de la Universidad de Sevilla, s.f.

El **encadenamiento de reglas hacia delante** puede utilizarse cuando **las premisas de algunas reglas coinciden con las conclusiones de otras**, de forma que al aplicarlas sucesivamente sobre los hechos iniciales podemos obtener nuevos hechos. A medida que obtenemos más hechos, podemos repetir el proceso hasta que no pueden obtenerse más conclusiones.

El **encadenamiento de reglas hacia atrás** parte del hecho que se quiere concluir y mira qué reglas lo tienen como conclusión, se toman las premisas de estas reglas y se consideran como objetivos parciales que se quieren verificar. Por medio de un proceso de comparación con los hechos de la base de conocimiento y un proceso de *backtracking*, se va decidiendo cuáles de los objetivos parciales se van cumpliendo y cuáles quedan pendientes.

En la figura que vemos a continuación, el encadenamiento hacia adelante partiría desde los hechos de la izquierda y avanzaría aplicando las reglas hacia la derecha, mientras que el encadenamiento hacia atrás partiría de la conclusión de la derecha y buscaría los hechos necesarios y suficientes hacia la izquierda.

Debe tenerse en cuenta que el uso de cualquiera de las dos estrategias no es excluyente, y que suelen usarse conjuntamente para obtener mejores resultados (si no se introducen más estrategias, suele ser necesario el uso de las dos para estar seguros de obtener todas las conclusiones factibles).

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

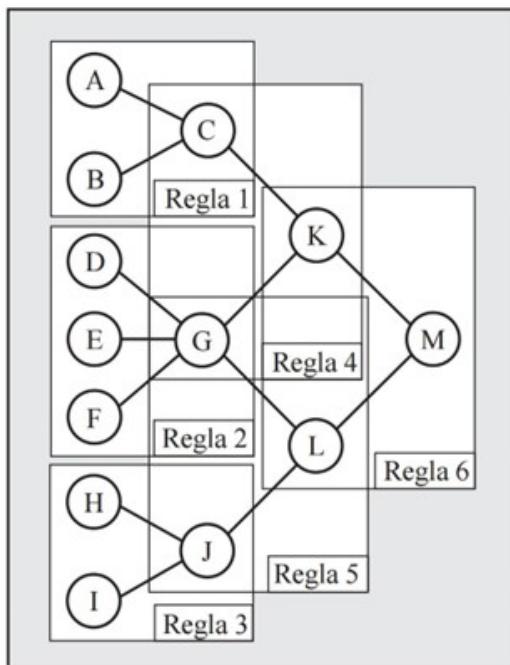


Figura 9. Esquema con encadenamientos hacia delante y hacia atrás. Fuente: Departamento de CCIA de la Universidad de Sevilla, s.f.

Además de poder inferir nuevos conocimientos, este sistema también puede mostrarnos **incoherencias** dentro de la base de conocimiento: ya sea porque es imposible obtener ciertas conclusiones, o porque hay **inconsistencias** entre los hechos iniciales y las reglas de la base. Un motor de inferencia útil debería ser capaz de encontrar estas inconsistencias y presentarlas al usuario.

Por otro lado, con la cadena de reglas que llevan de los hechos iniciales hasta la conclusión encontrada, podemos **extraer una explicación** adecuada de por qué se obtiene ese resultado, lo que nos proporciona una herramienta explicativa (a diferencia de los sistemas con motores tipo caja negra) que amplía nuestro conocimiento del sistema.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

Entre las **ventajas** de los Sistemas basados en reglas, podemos destacar:

1. Representan de **forma natural el conocimiento explícito de los expertos** que se expresa con frases del tipo "Si estamos en esta situación, entonces yo haría esto...", que se adapta fielmente a este modelo.
2. **Estructura uniforme**, ya que todas las reglas de producción tienen la misma estructura ("Si... entonces..."). Cada regla es una pieza de conocimiento independiente de las demás.
3. **Separación** entre la base de conocimiento y su procesamiento.
4. Capacidad para trabajar con conocimiento incompleto e incertidumbre (introduciendo variantes y, como veremos en el próximo apartado, de gran utilidad práctica).

Entre las **desventajas** principales que han llevado a complementarlo o sustituirlo con otros procedimientos de razonamiento, podemos destacar:

1. **Relaciones opacas entre reglas**: aunque las reglas de producción son muy simples desde un punto de vista individual, las interacciones que se producen a larga distancia entre la red de reglas existentes pueden ser muy difíciles de ver, lo que hace difícil saber cuál es la influencia de una regla determinada en la estrategia global de razonamiento que lo sustenta.
2. **Estrategias de búsqueda muy inefficientes**: el motor de inferencia realiza una búsqueda exhaustiva en todas las reglas en cada ciclo de iteración, por lo que los sistemas de reglas con muchas reglas (que pueden llegar a ser miles) son lentos y, a menudo, inviables actualmente en problemas del mundo real.
3. **Incapaz de aprender**: los sistemas de reglas sin aditivos no son capaces de aprender de la experiencia, por lo que haber extraído un conocimiento nuevo del sistema no proporciona métodos para poder aprender más cosas de forma más rápida posteriormente.

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

2.4. Sistemas de razonamiento impreciso

En muchas ocasiones se han de resolver problemas a partir de datos cuya certeza no se puede asegurar. Aun así, muchos expertos son capaces de manejar las incertidumbres sobre ciertos hechos y llegar a conclusiones válidas que solucionan un problema. De la misma manera, un sistema experto puede trabajar con hechos inciertos, imprecisos o incompletos.

La creencia de un hecho se puede expresar de diversas maneras. A continuación, se muestran dos tipos de proposiciones que permiten expresar incertidumbre e imprecisión, respectivamente:

Proposición incierta	Proposición imprecisa
Cuando no se puede determinar la verdad o falsedad de un hecho. Ejemplos: es posible que hoy vaya al cine, se comenta que mañana no habrá clase...	Aquella en la que se emplea una variable de la que no se conoce su valor o no se puede determinar con precisión. Ejemplos: alguien tiene mucha fiebre, el cielo está muy oscuro...

Figura 10. Dos tipos de proposiciones. Fuente: elaboración propia.

Es posible también combinar los dos tipos de proposiciones, dotando de incertidumbre e imprecisión al hecho. Por ejemplo: creo que hoy llueve mucho.

Se pueden emplear diferentes mecanismos que se enumeran a continuación:



Figura 11. Mecanismos. Fuente: elaboración propia.

Asignando unos **grados de certeza (CF)** a reglas y hechos y realizando inferencias con estos grados de certeza se puede modelar la incertidumbre. También las teorías

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

estadísticas permiten modelar incertidumbre. Por otra parte, la **imprecisión** se puede modelar empleando variables difusas en los antecedentes y consecuentes de las reglas, tal y como se explicará posteriormente.

¿A qué puede deberse la existencia de hechos inciertos o imprecisos?

En un sistema basado en conocimiento, la base de conocimiento, la base de hechos y, en definitiva, los datos y reglas con los que se trabaja en la memoria de trabajo, pueden no ser perfectos debido a diferentes causas:

► **Información:**

- **Incompleta o desconocida** (por ejemplo, falta de análisis en medicina, falta de variables de campo en sistemas de control).
- **Poco confiable** (por ejemplo, medidores poco confiables, instrumentos imprecisos, análisis poco confiables).
- **Ruido, distorsión** (por ejemplo, ruido o distorsión en sistemas de visión, de reconocimiento de voz, de comunicaciones).

► **Conocimiento:**

- **Impreciso.** El experto de dominio a menudo no puede más que aportar asociaciones vagas de hechos (por ejemplo, si tiene dolor de cabeza posiblemente tiene gripe). Además, el lenguaje por naturaleza es impreciso y vago (por ejemplo, se utilizan con frecuencia términos como 'frecuente', 'a veces', 'a menudo', etc., tal y como se puede comprobar precisamente en el texto de este tema).
- **Contradicitorio.** Se puede dar el caso de que se den proposiciones opuestas proporcionadas por dos expertos de dominio distintos (por ejemplo, si tiene dolor de cabeza es probable que tenga gripe, pero también es posible que no tenga gripe, opiniones encontradas de diferentes expertos). Es habitual que trabajen varios expertos de dominio en la creación de un sistema experto grande y complejo,

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

combinando su conocimiento y permitiendo enriquecer el sistema, pero con el riesgo de encontrar conclusiones contradictorias, ya que frecuentemente los expertos no opinan de la misma manera ante unos hechos y llegan a diferentes conclusiones.

Dado que el conocimiento es incierto y vago, y los datos son incompletos y ruidosos, en muchos problemas del mundo real un sistema experto ha de ser capaz de manejar este conocimiento y estos datos.

En esta lección se explican primeramente dos métodos populares para manejar la incertidumbre: **razonamiento bayesiano** y **los factores de certeza**. Tras ello, se describirá la **lógica difusa**, que permite trabajar con la imprecisión en los hechos expresados en antecedentes y consecuentes.

Razonamiento bayesiano

En muchos sistemas de resolución de problemas, un objetivo importante consiste en reunir evidencias sobre la evolución del sistema y modificar su comportamiento sobre la base de las mismas. Para modelar este comportamiento se puede utilizar el razonamiento bayesiano.

El concepto fundamental empleado en este razonamiento es el de la probabilidad condicionada de una hipótesis H , dado que se observa la evidencia E .

Esta probabilidad viene dada por la siguiente expresión, conocida como **Teorema de Bayes**:

$$P(H|E) = \frac{P(E \vee H) \cdot P(H)}{P(E)} \quad (1)$$

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

La inferencia Bayesiana se aplica mucho en los diagnósticos médicos. Por ejemplo:

$$\begin{array}{ll} \text{SI tiene fiebre} & E \text{ evidencia} \\ \text{ENTONCES tiene gripe} & H \text{ hipótesis} \\ P(H|E) = 0,86 & \end{array}$$

Para calcular la probabilidad condicionada es necesario tener en cuenta la probabilidad previa de H (la probabilidad que se le asignaría a H si no existe evidencia) y la parte en la que E proporciona evidencia de H . Para lograrlo, se define un conjunto exhaustivo de evidencias mutuamente exclusivas E_1, E_2, \dots, E_n , tal que

$\sum_{i=1}^n P(E_i) = 1$, que permite obtener la fórmula siguiente (en el caso particular de dos evidencias mutuamente excluyentes), base del manejo de la incertidumbre en sistemas expertos:

$$P(H|E) = \frac{P(E \vee H) \times P(H)}{P(E|H) \times P(H) + P(E \vee \bar{H}) \times P(\bar{H})} \quad (2)$$

Para ilustrar cómo se puede utilizar este razonamiento se considera el siguiente ejemplo, donde se quiere analizar la situación económica de una determinada persona:

- ▶ Hipótesis:
 - Sistema económico solvente: $P(S) = 0.7$
 - Insolvencia económica: $P(\bar{S}) = 0.3$
- ▶ Factores de interés:

-Vivienda en propiedad:

$$P(V|S) = 0.5$$

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

$$P(V|\bar{S}) = 0.1$$

$$P(\bar{V}|\bar{S}) = 0.1$$

-Ingresos altos:

$$P(I|S) = 0.7$$

$$P(\bar{I}|\bar{S}) = 0.2$$

Si se quiere saber si es solvente una persona sin vivienda, aplicando la expresión (2) se obtiene:

$$P(S|\bar{V}) = p(S) \cdot p(\bar{V}|S) + p(\bar{S}) \cdot p(\bar{V}|\bar{S}) = \frac{0.7 \cdot 0.5}{0.7 \cdot 0.5 + 0.3 \cdot 0.9} = 0.56$$

$$P(\bar{S}|\bar{V}) = 1 - 0.56 = 0.44$$

Si se quiere conocer si es solvente una persona con altos ingresos, aplicando la expresión (2) se obtiene:

$$P(S|I) = p(S) \cdot p(I|S) + p(\bar{S}) \cdot p(I|\bar{S}) = \frac{0.7 \cdot 0.7}{0.7 \cdot 0.7 + 0.3 \cdot 0.2} = 0.89$$

En este segundo caso se puede llegar a la conclusión más clara de que una persona con altos ingresos es muy probablemente solvente. Sin embargo, la vivienda en propiedad no es un factor que indique claramente la solvencia.

Se puede generalizar la expresión en la ecuación (2) obteniendo la ecuación (3), teniendo en cuenta no solo múltiples evidencias mutuamente exclusivas y exhaustivas, sino también múltiples hipótesis H_1, H_2, \dots, H_m , mutuamente exclusivas y exhaustivas, tal que $\sum_{i=1}^m P(H_i) = 1$, y teniendo en cuenta que se asume independencia condicional entre las distintas evidencias (con el fin de evitar la alta e inmanejable computación que requeriría calcular probabilidades condicionales de

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

todas las posibles combinaciones de evidencias para todas las hipótesis).

$$P(H_i|E_1E_2\dots E_n) = \frac{P(E_1|H_i)\cdot P(E_2|H_i)\dots P(E_n|H_i)\cdot P(H_i)}{\sum_{k=1}^m P(E_1|H_k)\cdot P(E_2|H_k)\dots P(E_n|H_k)\cdot P(H_k)} \quad (1)$$

xisten sistemas que utilizan reglas bayesianas, pero, tal y como se puede concluir observando la ecuación (3), no siempre se puede aplicar este método por los siguientes motivos:

- ▶ El problema de adquisición de conocimiento puede resultar inabordable, ya que es necesario conocer demasiadas probabilidades.
- ▶ Durante los cálculos computacionales, el espacio necesario para almacenar todas las probabilidades, así como el tiempo necesario para calcular las probabilidades, pueden resultar demasiado grandes.

A pesar de todos estos problemas, las estadísticas bayesianas proporcionan una base atractiva para los sistemas que trabajan bajo incertidumbre. Cuando se dispone de datos estadísticos fiables, el método bayesiano puede ser muy adecuado, pero se debe remarcar que, en el caso de grandes bases de conocimiento, podría resultar impráctico por el alto coste computacional.

Por este motivo y especialmente por el hecho la carencia de los datos necesarios para el cálculo de probabilidades, se proponen otros métodos de cálculos más sencillos como el que se expone en el siguiente apartado.

Naïve Bayes

Una de las aplicaciones más conocidas del razonamiento bayesiano son los clasificadores probabilísticos conocidos como **naïve Bayes** (Murphy et al., 2006). Estos clasificadores facilitan predicciones probabilísticas, ya que, mediante el conocimiento previo que tienen, determinan la probabilidad de una hipótesis. En este sentido, utilizando *naïve Bayes* podrán clasificarse nuevas instancias mediante la

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

combinación de probabilidades de distintas hipótesis.

La **suposición** que emplean los **clasificadores naïve** es que **los atributos de entrada son independientes entre sí con respecto a la clase**. Esta simplificación podría indicar que no se obtendrán buenos resultados pues, en muchas ocasiones, la independencia de los atributos de entrada con respecto a la clase no es cierta. Sin embargo, su aplicación da buenos resultados cuando se dispone de conjuntos de entrenamiento de tamaño medio o grande y, obviamente, cuando los atributos que describen los ejemplos son fuertemente independientes entre sí respecto a la clase. Algunos ejemplos de aplicación exitosa son los problemas de diagnóstico o la clasificación de documentos.

De forma más concreta, con un clasificador *naïve Bayes* se desea calcular la probabilidad *a posteriori* de una clase, para cada valor de los atributos de entrada elegidos. Si disponemos un conjunto de ejemplos E , cada uno de ellos con un número n de atributos (a_1, \dots, a_n) y un número k de clases (c_1, \dots, c_k), la probabilidad de que para un determinado valor de los atributos se cumpla una clase j vendría dada por la siguiente expresión:

$$P(a_1, a_2, \dots, a_n | c_j) \quad (2)$$

Aplicando la suposición de independencia de *naïve Bayes*:

$$P(a_1, a_2, \dots, a_n | c_j) = \prod_i P(a_i | c_j) \quad (3)$$

Y, la aproximación del clasificador *naïve Bayes* vendría determinada por la expresión (6):

$$C_{nb} = \operatorname{argmax}_{c_j \in C} P(c_j) \prod_i P(a_i | c_j) \quad (4)$$

Tema 2. Utilización de modelos de Inteligencia Artificial

Tomando como ejemplo el problema ‘Jugar al aire libre’ de Quinlan (1986), pueden estimarse las probabilidades de jugar o no para cada uno de los atributos (ver Tabla 1 más adelante):

$$P(\text{Sí}) = 9/14 = 0.64$$

$$P(\text{No}) = 5/14 = 0.36$$

$$P(\text{Ambiente} = \text{Soleado} \mid \text{Jugar} = \text{Sí}) = 2/9 = 0.22$$

$$P(\text{Ambiente} = \text{Soleado} \mid \text{Jugar} = \text{No}) = 3/5 = 0.6$$

$$P(\text{Humedad} = \text{Alta} \mid \text{Jugar} = \text{Sí}) = 3/9 = 0.33$$

$$P(\text{Humedad} = \text{Alta} \mid \text{Jugar} = \text{No}) = 4/5 = 0.8$$

...

Entonces, si se quisiera clasificar la siguiente instancia:

$$E_i = \{\text{Ambiente} = \text{Soleado}, \text{Temperatura} = \text{Media}, \text{Humedad} = \text{Alta}, \text{Viento} = \text{Verdadero}\}$$

Se calculan las probabilidades *a posteriori*:

$$P(\text{Jugar} = \text{Sí}) P(\text{Ambiente} = \text{Soleado} \mid \text{Jugar} = \text{Sí}) P(\text{Temperatura} = \text{Media} \mid \text{Jugar} = \text{Sí}) P(\text{Humedad}$$

$$= \text{Alta} \mid \text{Jugar} = \text{Sí}) P(\text{Viento} = \text{Verdadero} \mid \text{Jugar} = \text{Sí}) = 0.0067 (0.14).$$

$$P(\text{Jugar} = \text{No}) P(\text{Ambiente} = \text{Soleado} \mid \text{Jugar} = \text{No}) P(\text{Temperatura} = \text{Media} \mid \text{Jugar} = \text{Sí}) P(\text{Humedad} =$$

$$\text{Alta} \mid \text{Jugar} = \text{No}) P(\text{Viento} = \text{Verdadero} \mid \text{Jugar} = \text{No}) = 0.041 (0.86).$$

Y, como resultado, el clasificador devuelve que la clasificación con mayor probabilidad a posteriori es No jugar.