

## Diseño e implementación de agentes inteligentes para gestión de autoaprendizaje aplicado al juego de Pac-man

Juan Ulises Calderon Huerta<sup>1</sup>, Rodrigo Fabian Cervantes Martínez<sup>1</sup>, Jesus Eduardo Gonzales Trigueros<sup>1</sup>, Emilio Muñoz Rivera<sup>1</sup>, Mariana Jaqueline Peñarán Prieto<sup>1</sup>, Mario Alberto Ibarra Manzano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías del Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato  
{ ju.calderonhuerta, rf.cervantesmartinez, je.gonzaleztrigueros, mj.penaranprieto, e.munozrivera, ibarram}@ugto.mx

### Resumen

El artículo describe el diseño y la implementación de agentes inteligentes para el juego clásico de arcade Pac-Man. Los agentes están diseñados para maximizar su puntaje en tiempo real, lo que los obliga a tomar decisiones efectivas, como moverse de manera eficiente por el laberinto, comer puntos y evitar ser atrapados por los fantasmas. Se exploran diferentes enfoques de inteligencia artificial y algoritmos de aprendizaje automático para desarrollar agentes que puedan superar los desafíos planteados por el juego y mejorar su rendimiento de forma autónoma.

El artículo destaca que los videojuegos son un excelente entorno para poner a prueba nuevos tipos de agentes inteligentes, ya que ofrecen escenarios dinámicos y desafiantes donde los agentes pueden interactuar con diversos elementos y enfrentarse a situaciones cambiantes en tiempo real. Pac-Man es un juego especialmente relevante en este contexto debido a su riqueza y complejidad, lo que lo convierte en un objeto de estudio popular para la inteligencia artificial y la robótica.

El artículo también analiza la jugabilidad de Pac-Man, donde el jugador controla a un personaje amarillo que debe moverse por un laberinto comiendo puntos y evitando ser atrapado por los fantasmas. El laberinto está formado por intrincados pasillos y esquinas que ofrecen múltiples rutas para explorar. Las píldoras son el principal objetivo del juego y están dispersas por todo el laberinto.

Además, el artículo destaca que los agentes inteligentes son algoritmos computacionales independientes que toman decisiones basadas en la información del entorno y el conocimiento generado a partir de situaciones previas. Los agentes tienen una amplia gama de aplicaciones, ya que les permite resolver de manera general cualquier situación planteada, encontrando soluciones individuales a problemas y mejorando su rendimiento de forma autónoma.

En conclusión, el artículo contribuye al avance de la inteligencia artificial y la comprensión de cómo los agentes inteligentes pueden evolucionar y adaptarse para enfrentar complejas situaciones en diversos dominios de aplicación. El artículo es útil para aquellos interesados en la inteligencia artificial, los videojuegos y la robótica.

**Palabras clave:** Pac-man; Inteligencia Artificial; Algoritmos; Autoaprendizaje; Agentes Inteligentes; Estrategia; Juegos de arcade; Laberinto; Toma de decisiones.

### Pac-man

En el ámbito de la inteligencia artificial y la ciencia de la computación, el desarrollo de agentes inteligentes capaces de aprender y adaptarse en entornos dinámicos ha sido un desafío significativo. Estos agentes tienen el potencial de revolucionar múltiples industrias, desde la robótica hasta la toma de decisiones automatizadas en sistemas complejos. Uno de los desafíos más emocionantes para esta disciplina es la creación de agentes inteligentes que puedan aprender de forma autónoma y mejorar su desempeño a lo largo del tiempo.

Los agentes inteligentes son algoritmos computacionales independientes que toman decisiones basadas en la información del entorno, que es medido por sus entradas, y el conocimiento generado a partir de situaciones previas. Estos agentes tienen una amplia gama de aplicaciones, ya que les permite resolver de manera general cualquier situación planteada, encontrando soluciones individuales a problemas y mejorando su rendimiento de forma autónoma. Sin embargo, para lograr un alto nivel de eficiencia, los agentes inteligentes requieren un ambiente de prueba que les permita generar un gran número de ejemplos, a partir de los cuales puedan perfeccionarse y optimizar sus respuestas, manteniendo así su comportamiento generalizado.

Los videojuegos se han destacado como uno de los entornos ideales para poner a prueba nuevos tipos de agentes inteligentes. Estos ofrecen escenarios dinámicos y desafiantes donde los agentes pueden interactuar con diversos elementos y enfrentarse a situaciones cambiantes en tiempo real. Un videojuego especialmente relevante en este contexto es el legendario juego de arcade: Pac-Man.

Los juegos de arcade, originarios de las décadas de 1970 y 1980, desempeñaron un papel crucial en la historia de los videojuegos y en la evolución de la industria del entretenimiento digital. Estos juegos, generalmente caracterizados por su jugabilidad rápida, gráficos simples y desafíos adictivos, cautivaron a millones de jugadores en todo el mundo. Uno de los títulos más icónicos y emblemáticos de la época es el legendario juego de arcade: Pac-Man.

La historia de Pac-Man se remonta a 1980, cuando fue desarrollado por la empresa japonesa Namco, que posteriormente se convirtió en Bandai Namco Entertainment. Creado por Toru Iwatani, un diseñador de videojuegos, Pac-Man fue diseñado para atraer tanto a jugadores masculinos como femeninos, en un momento en que la mayoría de los videojuegos tenían una temática más enfocada en lo masculino.

En este proyecto, se utilizará el juego de Pac-Man como entorno de prueba para evaluar el desempeño de diversos agentes inteligentes reactivos. Estos agentes serán diseñados para optimizar su comportamiento en el juego, aprendiendo y adaptándose en función de las condiciones del laberinto, la ubicación de las píldoras y la estrategia de los fantasmas que los persiguen. Se explorarán diferentes técnicas de inteligencia artificial y algoritmos de aprendizaje automático para desarrollar agentes que puedan superar los desafíos planteados por el juego y, potencialmente, superar el rendimiento humano.

El presente artículo tiene como objetivo exponer el proceso de diseño e implementación de estos agentes inteligentes aplicados al juego de Pac-Man, así como analizar los resultados obtenidos en términos de su capacidad de autoaprendizaje y mejora de desempeño. Se espera que los hallazgos de esta investigación contribuyan al avance de la inteligencia artificial y a la comprensión de cómo los agentes inteligentes pueden evolucionar y adaptarse para enfrentar complejas situaciones en diversos dominios de aplicación.

## Metodología

Pac-Man fue desarrollado por Toru Iwatani y lanzado por Namco en 1980 [1]. Originalmente el juego se titulaba Puck-Man, pero fue renombrado para el mercado americano. Fue lanzado como un juego de arcade que funciona con monedas y luego fue adoptado por muchas otras plataformas de juego. En muy poco tiempo alcanzó la fama de ser el juego de arcade de todos los tiempos, lo que provocó como consecuencia una escasez de monedas en Japón. La jugabilidad de Pac-Man se lleva a cabo mediante el uso de una palanca de mando o joystick de cuatro direcciones (que puede dejarse centrado en posición neutral) para navegar por el laberinto. La vista aérea de la pantalla muestra el laberinto completo, presentando a Pac-Man como un círculo amarillo siempre orientado en la dirección en la que se desplaza.

La velocidad de Pac-Man es variable a lo largo del laberinto: la velocidad aumenta en relación con los fantasmas en los túneles, en las esquinas y después de comer una píldora de poder, y disminuye mientras come píldoras. Estas variaciones en la velocidad relativa de Pac-Man y los fantasmas se suman significativamente a la riqueza del juego y, a menudo, pueden marcar la diferencia entre la vida y la muerte. Pac-Man tiene dos vías libres para empezar y el juego termina cuando se pierden todas las vidas. Se otorga una vida adicional en 10'000 puntos. El laberinto bidimensional está formado por intrincados pasillos y esquinas que ofrecen múltiples rutas para explorar. Las píldoras son el principal objetivo del juego y están dispersas por todo el laberinto. Al comer una píldora, el jugador acumula puntos y, a medida que se devoran más píldoras, el laberinto se va despejando. Además de las píldoras normales (no intermitentes), Pac-Man también encontrará 4 píldoras grandes (píldoras intermitentes), conocidas como "power pellets" con valor de 50 puntos, que temporalmente le otorgan la capacidad de devorar a los fantasmas, lo que proporciona una

oportunidad para obtener más puntos y un breve respiro. El laberinto está lleno de 240 píldoras (no intermitentes), cada una con valor de 10 puntos (Ver Figura 1).

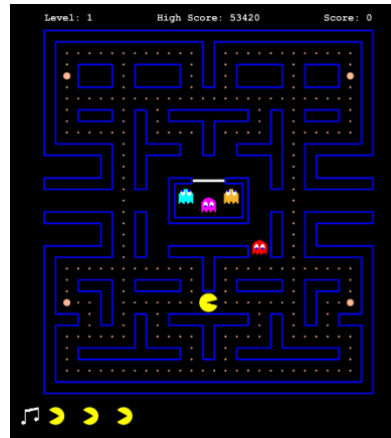


Figura 1. Captura de pantalla de la posición inicial del Pac-Man

Los cuatro fantasmas, cada uno con una personalidad y estrategia de persecución única, constituyen el mayor desafío para Pac-Man. Blinky, el fantasma rojo, siempre persigue a Pac-Man con tenacidad. Pinky, el rosa, intenta anticipar el movimiento de Pac-Man y cortar su camino. Inky, el azul, usa una táctica más compleja, calculando su posición en relación con Pinky para sorprender al jugador. Finalmente, Clyde, el naranja, es el fantasma menos peligroso, oscila entre perseguir a Pac-Man (solo el 20%) y vagar aleatoriamente (Ver tabla 1). Además, cada fantasma tiene su territorio principal donde pasa la mayor parte de su tiempo. Los ojos de los fantasmas indican la dirección en la que viajan y, por lo general, los fantasmas no pueden intervenir la dirección a menos que Pac-Man consuma una pastilla de energía o se active un evento de inversión total de fantasmas: los fantasmas operan en uno de los tres modos (dispersión, persecución o asustados) y se produce un evento de inversión después de una serie de transiciones entre estos modos.

La velocidad de los fantasmas normalmente es constante, excepto bajo tres situaciones: la primera cuando viajan a través del túnel, donde disminuyen significativamente la velocidad. La segunda cuando son comestibles, cuando viajan a la mitad de la velocidad. La tercera cuando el jugador está cerca del final de un nivel, los fantasmas pueden acelerar y la velocidad depende del tipo de fantasma.

Tabla 1. Características de los fantasmas

Color	Naranja	Azul	Rosa	Rojo
Nombre	Clyde	Inky	Pinky	Blinky
Agresividad	20%	50%	70%	90%
Territorios	Suroeste	Sureste	Noroeste	Noreste

El juego de Pac-Man recompensa a los jugadores con puntos por cada píldora consumida, así como por comer a los fantasmas vulnerables tras comer una píldora grande. La puntuación otorgada a Pac-Man se duplica con cada fantasma comido en sucesión 200, 400, 800 y 1600 (por un total de 3050 puntos por pastilla de poder). La última fuente de puntos viene en forma de frutas de bonificación que aparecen en ciertos intervalos justo debajo de la guarida. Hay 8 frutas diferentes con valores de 100 a 500 (las frutas de mayor valor aparecen solo en los niveles posteriores). El puntaje se convierte en un indicador del rendimiento y habilidad del jugador. Además, el tiempo no es un factor explícito en Pac-Man, pero el desafío de completar el laberinto antes de ser atrapado añade una sensación de urgencia y emoción a la partida.

A medida que los jugadores avanzan, el juego se vuelve más complejo. Cada nivel presenta laberintos con diseños únicos y mayores desafíos para el jugador. La velocidad de los fantasmas aumenta y la ubicación de las píldoras puede ser más difícil de alcanzar. La progresión es una recompensa para los jugadores habilidosos y un estímulo para mejorar y enfrentar nuevos retos. Cuando se hayan eliminado todas las

pastillas, el juego pasa al siguiente nivel. Técnicamente el juego es ilimitado, pero un error de software en el código ROM original impide que el juego supere el nivel 255 que no se puede completar.

En el ámbito de la inteligencia artificial, la creación de agentes capaces de aprender y adaptarse en entornos complejos y dinámicos ha sido un desafío significativo. Los videojuegos, y en particular Pac-Man, proporcionan un entorno de prueba ideal para evaluar las capacidades de estos agentes.

1. **Entorno Desafiante y Dinámico:** El laberinto de Pac-Man presenta un escenario cambiante con elementos en constante movimiento, como píldoras, fantasmas y frutas. Los agentes inteligentes deben tomar decisiones rápidas y adaptarse a situaciones imprevistas, lo que simula con precisión el desafío de la toma de decisiones en entornos del mundo real.
2. **Comportamiento de los Fantasmas:** Los fantasmas en el juego de Pac-Man cuentan con diferentes estrategias de persecución, lo que crea un ambiente complejo para los agentes inteligentes. Resolver el problema de cómo evitar a los fantasmas mientras se optimiza la recolección de píldoras representa un problema interesante en el campo de la planificación y el aprendizaje reforzado.
3. **Gran Cantidad de Datos:** El juego de Pac-Man ofrece la posibilidad de generar un gran número de ejemplos para el aprendizaje de los agentes. Estos ejemplos permiten mejorar y refinar las estrategias de los agentes a través de técnicas de aprendizaje automático, lo que resulta beneficioso para su capacidad de autoaprendizaje y adaptación a diferentes situaciones.
4. **Generalidad del Enfoque:** El diseño de agentes inteligentes para Pac-Man requiere una combinación de técnicas, como el aprendizaje profundo, la planificación y la toma de decisiones. Estas técnicas son aplicables en diversos dominios más allá del juego, lo que hace que los resultados obtenidos en Pac-Man sean relevantes y útiles para otros problemas complejos de la vida real.
5. **Evaluación Objetiva:** El rendimiento de los agentes en Pac-Man puede medirse de manera objetiva mediante métricas como la puntuación y la eficiencia en la recolección de píldoras. Esto facilita la comparación y el análisis de diferentes enfoques y algoritmos en un entorno estandarizado.

En diferentes investigaciones sobre inteligencia artificial y desarrollo de agentes inteligentes, el juego de Pac-Man ha sido modelado y abordado como un grafo para aplicar diversas técnicas basadas en grafos, como el algoritmo de Dijkstra, la búsqueda en profundidad y la búsqueda en anchura. En el contexto de Pac-Man, el laberinto puede ser visto como un grafo, donde cada celda del laberinto representa un nodo y las conexiones entre celdas representan aristas del grafo. Esta representación gráfica permite analizar el juego desde una perspectiva más estructurada, lo que facilita la aplicación de algoritmos y técnicas específicas para la toma de decisiones y el movimiento del agente.

- **Algoritmo de Dijkstra:** El algoritmo de Dijkstra es ampliamente utilizado en la búsqueda de caminos más cortos en grafos con pesos no negativos. En el contexto de Pac-Man, este algoritmo puede ser aplicado para encontrar el camino más corto desde la posición actual del personaje hasta el objetivo deseado, como una píldora o la salida del laberinto. Esto permite al agente trazar rutas eficientes y seguras para alcanzar sus objetivos evitando a los fantasmas y obstáculos.
- **Búsqueda en Profundidad y Búsqueda en Anchura:** Estos algoritmos de búsqueda son ampliamente utilizados en inteligencia artificial y resolución de problemas en grafos. En el contexto de Pac-Man, estos algoritmos pueden ser empleados para explorar las diferentes opciones y posibilidades disponibles en el laberinto. La búsqueda en profundidad se adentra en un camino específico hasta que alcanza un objetivo o no puede avanzar más, mientras que la búsqueda en anchura explora todas las opciones disponibles en el mismo nivel antes de pasar a niveles más profundos del árbol de búsqueda. Ambos enfoques son útiles para evaluar posibles movimientos y tomar decisiones estratégicas para el agente.

Estos algoritmos de grafos y técnicas de búsqueda son solo algunos ejemplos de cómo la teoría de grafos puede ser aplicada en la investigación sobre agentes inteligentes y el juego de Pac-Man. La representación del laberinto como un grafo y la aplicación de estas técnicas permiten desarrollar estrategias más inteligentes y eficientes para el movimiento y la toma de decisiones del agente. Además, al utilizar el juego de Pac-Man

como entorno de prueba, se puede comparar y evaluar el rendimiento de diferentes algoritmos y enfoques de inteligencia artificial, lo que ayuda a avanzar en el desarrollo de agentes cada vez más sofisticados y capaces de superar desafíos complejos en entornos dinámicos y competitivos.

[2] En su artículo Handa e Isozaki emplean un sistema evolutivo para jugar, emplean el uso de capturas de pantalla con un conjunto de reglas difusas diseñadas a mano. Se captura la pantalla y se extrae la siguiente información: distancia a todos los fantasmas (comestibles y no comestibles), posición de la pastilla mas cercana y distancia al cruce mas cercano y distancia al cruce mas cercano de Ms Pac-Man y los fantasmas. El algoritmo de Dijkstra se usa para precalcular estas distancias usando un grafico aproximado del laberinto. Las reglas difusas se definen como Evitación, Persecución y Go-Through. Si ninguna regla esta activada, en su lugar se utiliza la opción Comer.

[3] El trabajo del Bell describe su participación en el concurso CIG Ma Pac-Man Screen-Capture de 2010. El controlador es un sistema basado en regla que utiliza el algoritmo de Dijkstra para los cálculos de la ruta más corta, una búsqueda de árbol influenciada por los beneficios para encontrar rutas seguras y un mecanismo novedoso de detección de dirección fantasma. El algoritmo primero registra una captura de pantalla del juego y actualiza su modelo interno del estado de juego. El laberinto se representa como un grafo con nodos en la cruces y esquinas del laberinto original. Una vez que se actualiza el estado interno, el controlador determina la mejor regla a aplicar y luego determina la mejor ruta (y por lo tanto la mejor dirección) a elegir.

[4] Oh y Cho proponen un controlador hibrido que combina reglas hechas a mano basadas en el algoritmo de Dijkstra con redes neuronales artificiales evolucionadas (basadas en NEAT). Los autores utilizan dos conjuntos de reglas. Primero si un fantasma está cerca la Sra. Pac-Man inmediatamente intenta moverse a la dirección opuesta. El segundo conjunto de reglas se basa en caminos obtenidos utilizando el algoritmo de Dijkstra que, a su vez, hace un uso de una representación de estado abstracto: el laberinto se modela como una cuadrícula de 28 x 31 nodos. El costo de cada ruta es igual a su peligro percibido, medido por la proximidad de fantasmas no comestibles, así con la presencia de elementos como píldoras y fantasmas comestibles.

## Resultados

El objetivo principal de nuestras IAs es maximizar la puntuación acumulada por el agente en el juego de Pac-Man. Para lograr este propósito, implementamos diferentes estrategias que abordan la recolección de puntos a partir de elementos clave del juego, como las monedas, píldoras y frutas.

Cada IA desarrollada se enfoca en guiar a Pac-Man para que consuma todas las monedas presentes en el laberinto, lo que constituye la principal fuente de puntos en el juego. La recolección de monedas es una prioridad compartida por las tres IAs, ya que permite mantener una puntuación constante a medida que el agente avanza en el juego y pasa de nivel.

Sin embargo, cada IA implementa estrategias distintas para lograr este objetivo. Una de las IAs se centra en un enfoque reactivo, siguiendo las monedas y evitando a los fantasmas en estado no vulnerable para garantizar la supervivencia del agente. Otra IA, por otro lado, utiliza una estrategia de huida y persecución más inteligente, aprovechando las píldoras de poder para perseguir a los fantasmas y eliminarlos temporalmente, lo que resulta en un mayor puntaje y reducción de riesgos.

El análisis comparativo de las tres mejores IAs nos permite obtener una conclusión más acertada sobre las estrategias más efectivas para maximizar la puntuación en Pac-Man. Al evaluar el rendimiento y los resultados de cada IA, podemos identificar las fortalezas y debilidades de cada enfoque y determinar cuál estrategia se adapta mejor a diferentes situaciones en el juego. Nuestro objetivo es explorar y analizar diferentes estrategias implementadas por las IAs para maximizar la puntuación en Pac-Man. La recolección de monedas es un componente esencial en todas las estrategias, y cada IA aborda este objetivo desde una perspectiva única. Al presentar los resultados y comparar las IAs con mejor rendimiento, buscamos obtener una visión más completa y fundamentada sobre las tácticas más efectivas en el juego de Pac-Man, lo que contribuirá al avance de la investigación en el campo de la inteligencia artificial y su aplicación en entornos complejos y desafiantes.

El primer algoritmo utilizado en la IA se basa en una estrategia reactiva para tomar decisiones en función de la proximidad de los fantasmas y la disponibilidad de diferentes elementos en el laberinto. A continuación, se describe paso a paso cómo opera esta IA:

1. **Objetivo de Alejarse de los Fantasmas:** El primer objetivo de la IA es mantener una distancia segura de los fantasmas. Si los fantasmas se acercan demasiado a Pac-Man y representan una amenaza inmediata, la IA tomará decisiones para alejarse de ellos y evitar un encuentro directo que pueda resultar en la pérdida de una vida.
2. **Comer Píldoras Energizantes:** Si los fantasmas no están cerca y no representan una amenaza inmediata, la IA se centrará en consumir las píldoras energizantes cuando estén disponibles en el laberinto. Las píldoras energizantes permiten a Pac-Man volverse temporalmente invulnerable y, lo que es más importante, le otorgan la capacidad de comer a los fantasmas durante un corto período de tiempo.
3. **Buscar Píldoras Energizantes:** Si los fantasmas están a cierta distancia cercana, la IA cambiará su enfoque y priorizará la búsqueda de una píldora energizante para volverse invulnerable. La idea es aprovechar la ventaja temporal de comer a los fantasmas en su estado vulnerable.
4. **Consumir Píldoras Normales:** Si las píldoras energizantes no están disponibles, la IA optará por consumir las píldoras normales repartidas en el laberinto. Estas píldoras son una fuente constante de puntos para Pac-Man y son una opción segura cuando los fantasmas no están en su estado vulnerable.
5. **Prioridad de Fantasmas en Estado 1:** Si un fantasma se encuentra en estado 1 (estado normal y amenazante), y está cercano a Pac-Man, la IA priorizará la huida y evitará el encuentro con este fantasma para salvaguardar la vida del personaje.
6. **Comer Fantasmas en Estado 2:** Si un fantasma está en estado 2 (estado vulnerable después de comer una píldora energizante) y está cerca de Pac-Man, la IA optará por comerlo y obtener puntos adicionales mientras el fantasma esté en este estado vulnerable.

Este algoritmo utiliza un enfoque reactivo y estratégico para tomar decisiones en función de la proximidad de los fantasmas y la disponibilidad de elementos como píldoras y fantasmas en diferentes estados. La IA busca mantenerse a salvo de los fantasmas y maximizar la puntuación al aprovechar las oportunidades brindadas por las píldoras energizantes y la vulnerabilidad de los fantasmas en estado 2. Además, muestra un comportamiento inteligente al priorizar la supervivencia y tomar decisiones adaptativas en el desafiante entorno del juego de Pac-Man.

El segundo algoritmo utilizado en la IA se basa en un enfoque más elaborado que incorpora técnicas de búsqueda de caminos y toma de decisiones basadas en la información del entorno. A continuación, se describe detalladamente cómo opera esta IA:

1. **Recopilación de Datos:** La IA recibe datos sobre la posición actual de Pac-Man, la posición de los enemigos (los fantasmas) y la ubicación de las píldoras en el laberinto. Estos datos se utilizan para tomar decisiones informadas sobre los movimientos y acciones de Pac-Man.
2. **Decisión Inicial:** El algoritmo entra en una decisión inicial para determinar si hay píldoras disponibles en el laberinto. Si el número de píldoras es igual a cero, la IA toma la decisión de regresar al inicio, lo que implica reiniciar el juego o tomar alguna otra acción según el contexto.
3. **Cálculo de la Píldora más Cercana:** Si hay píldoras disponibles en el laberinto, la IA calcula la distancia de todas las píldoras con respecto a la posición actual de Pac-Man utilizando el algoritmo de Dijkstra o un enfoque similar de búsqueda de caminos. El objetivo es seleccionar la píldora más cercana a Pac-Man, lo que permitirá al agente dirigirse hacia ella y consumirla para obtener puntos.
4. **Decisión de Huir de Fantasmas en Estado 1:** La IA verifica el estado de los fantasmas. Si alguno de los fantasmas está en estado 1 (estado normal y amenazante), la IA toma la decisión de huir de

ellos y selecciona una ruta hacia la píldora más cercana con un valor de distancia infinito, evitando así cualquier encuentro con los fantasmas.

5. **Comer Fantasma en Estado 2:** Si todos los fantasmas están en estado 2 (estado vulnerable después de comer una píldora energizante), la IA calcula la distancia de todos los fantasmas con respecto a Pac-Man y elige el fantasma más cercano para comerlo. Comer a los fantasmas en estado vulnerable proporciona puntos adicionales al agente.
6. **Repetición del Algoritmo:** Una vez que Pac-Man ha alcanzado y consumido la píldora seleccionada, el algoritmo se repite nuevamente, tomando en cuenta la nueva posición de Pac-Man, la ubicación de los enemigos y las píldoras disponibles. El proceso continúa hasta que se consumen todas las píldoras en el laberinto o se alcanza un punto de finalización definido en el juego.

Este segundo algoritmo utiliza técnicas avanzadas de búsqueda de caminos (algoritmo de Dijkstra) y toma decisiones basadas en la proximidad de las píldoras y los enemigos para guiar a Pac-Man en su objetivo de maximizar la puntuación. La IA prioriza la recolección de píldoras y utiliza una estrategia inteligente para huir de los fantasmas en estado normal y aprovechar las oportunidades de comerlos cuando están en estado vulnerable. Este enfoque complejo y adaptativo permite que la IA tome decisiones más informadas y eficientes para obtener un rendimiento destacado en el juego de Pac-Man.

**Tabla 2.** Resultados de puntajes obtenidos por las tres agentes implementados

Posición	Primer IA	Primer IA 2.0	Segunda IA
1	22,180	13,510	34,390
2	20,830	13,240	18,570
3	20,520	12,440	16,740
4	20,130	11,230	16,310
5	17,930	9,740	14,960
6	17,300	9,660	14,960
7	15,550	9,370	14,910
8	15,190	9,130	14,820
9	13,860	8,840	13,820
10	13,250	8,670	13,820
$\mu \pm \sigma$	17,674 $\pm$ 3,151	10,583 $\pm$ 1,866	17,330 $\pm$ 6,164

### Primer Inteligencia Artificial

Los resultados obtenidos de nuestras pruebas revelaron que la IA desarrollada demostró una eficacia significativa en la recolección de monedas y el seguimiento de los fantasmas en estado dos en el juego de Pac-Man. Su enfoque en seguir esta estrategia permitió que el agente acumulara puntos de manera constante al consumir las monedas mientras los fantasmas estaban en su estado vulnerable.

Sin embargo, también se identificaron algunas limitaciones importantes en la estrategia implementada. La IA se mostró vulnerable en numerosas situaciones debido a su enfoque exclusivo en la recolección de monedas y el seguimiento de los fantasmas en estado dos. Al no poseer una función de esquiva adecuada, el agente tuvo dificultades para evitar a los fantasmas cuando estaban en su estado activo y amenazante.

En consecuencia, cuando los fantasmas estaban fuera de su estado vulnerable, la IA se encontró en situaciones de alto riesgo, lo que llevó a numerosos encuentros y pérdida de vidas del personaje controlado. Esta limitación afectó negativamente el rendimiento global del agente, ya que su enfoque unidimensional lo hizo menos adaptable y versátil en un entorno de juego dinámico y cambiante como el de Pac-Man.

Para mejorar el desempeño de la IA, es fundamental incorporar una función de esquiva que permita al agente evadir a los fantasmas cuando estos se encuentren en su estado activo y representen una amenaza para el personaje. Al combinar la estrategia de recolección de monedas y el seguimiento de los fantasmas en estado dos con una función de esquiva adecuada, el agente tendrá una mayor capacidad para sobrevivir y mantenerse en el juego durante períodos más prolongados.

### Primer Inteligencia Artificial 2.0

Los resultados de las pruebas de esta nueva IA mostraron un enfoque más equilibrado y efectivo para el juego de Pac-Man. A diferencia de la IA anterior, esta vez el agente demostró una prioridad clara y acertada: la supervivencia. La IA implementó una estrategia de huida cuando los fantasmas se acercaban peligrosamente y, de manera inteligente, utilizó las píldoras para aprovechar el estado vulnerable de los fantasmas y perseguirlos en lugar de huir.

La capacidad del agente para reconocer situaciones de peligro y tomar decisiones en función de su supervivencia resultó en una mayor longevidad en el juego y una disminución significativa en la pérdida de vidas. La utilización oportuna de las píldoras, que permiten al personaje comer a los fantasmas, le brindó la oportunidad de ganar puntos adicionales y, al mismo tiempo, eliminar temporalmente la amenaza que representaban los fantasmas.

Además, la IA continuó persiguiendo las monedas, lo que le permitió acumular puntos de manera constante mientras se mantenía alerta ante la presencia de los fantasmas. La combinación de la recolección de monedas con una estrategia de supervivencia mejoró la eficacia global del agente, lo que se tradujo en una mejor puntuación y una mayor resistencia en el juego.

Estos resultados indican que la inclusión de una función de esquiva y una estrategia de supervivencia puede marcar una gran diferencia en el desempeño del agente en el juego de Pac-Man. El enfoque más equilibrado y adaptativo de esta IA le permitió enfrentar desafíos de manera más efectiva, lo que la convierte en una opción más sólida para enfrentar situaciones complejas y cambiantes.

Sin embargo, aún existen oportunidades para mejorar el rendimiento de la IA. Se puede explorar la optimización de la estrategia de huida y persecución de los fantasmas, considerando factores como la distancia y el estado de cada fantasma para tomar decisiones más precisas y efectivas. Además, la incorporación de técnicas de aprendizaje reforzado podría permitir al agente mejorar su estrategia a lo largo del tiempo y adaptarse a patrones de juego más sofisticados.

### Segunda Inteligencia Artificial

Los resultados obtenidos de la última IA son impresionantes y resaltan la eficacia de su enfoque equilibrado y estratégico en el juego de Pac-Man. Al igual que las IA anteriores, esta versión sigue priorizando la recolección de monedas como un objetivo principal, lo que le permite acumular puntos de manera constante.

Sin embargo, lo que hace que esta IA se destaque es su capacidad para reconocer situaciones de peligro y tomar decisiones inteligentes en consecuencia. Cuando los fantasmas se acercan a un cierto rango, la IA evita inteligentemente su encuentro, lo que reduce significativamente el riesgo de perder vidas innecesariamente.

La característica distintiva de esta IA radica en su enfoque cuando toma una píldora de poder. En lugar de simplemente huir o evitar a los fantasmas, la IA persigue activamente a los fantasmas hasta un cierto rango, aprovechando la ventaja temporal que ofrece el estado vulnerable de los fantasmas. Esta estrategia audaz le permite no solo ganar puntos adicionales al comer a los fantasmas, sino también reducir su número en el laberinto, lo que simplifica sus decisiones y aumenta su seguridad a medida que avanza en el juego.



El resultado más sobresaliente de esta IA es su puntaje más alto en comparación con las versiones anteriores. El enfoque equilibrado, la adaptabilidad y la implementación estratégica de diversas tácticas han permitido a esta IA obtener un rendimiento superior en el juego de Pac-Man.

Estos resultados son una prueba clara de cómo la toma en cuenta de ciertos factores y la implementación de estrategias efectivas pueden marcar una diferencia significativa en el desempeño del agente. Al equilibrar cuidadosamente la recolección de monedas, la evasión de los fantasmas en ciertos escenarios y el aprovechamiento de las oportunidades brindadas por las píldoras de poder, esta IA ha demostrado un enfoque más completo y sofisticado para enfrentar los desafíos del juego.

Para futuras investigaciones, es interesante considerar la posibilidad de combinar las fortalezas de las diferentes IA evaluadas para crear una versión aún más robusta y eficiente. Al incorporar elementos exitosos de cada estrategia, se puede crear un agente inteligente que sea altamente adaptable, eficaz y capaz de superar una amplia gama de situaciones en el juego de Pac-Man.

## Conclusión

En conclusión, el proceso de enseñanza y aprendizaje de inteligencia artificial mediante el juego de Pac-Man ha demostrado ser una estrategia altamente efectiva y motivadora. A través de la programación de tres IAs con diferentes algoritmos y técnicas de aprendizaje automático, pudimos explorar y experimentar con el potencial de la IA en un entorno recreativo y desafiante.

El éxito obtenido al desarrollar estas tres IAs, cada una con enfoques y estrategias distintas, resalta la versatilidad y adaptabilidad de la inteligencia artificial en la resolución de problemáticas complejas. Cada IA abordó el juego Pac-Man desde una perspectiva única, priorizando diferentes objetivos y tomando decisiones informadas en función de la información del entorno. Esta diversidad de enfoques nos permitió comprender cómo diferentes algoritmos pueden influir en el desempeño y los resultados del agente virtual.

El juego de Pac-Man, con su amplia base de jugadores y su historia rica en desafíos y estrategias, resultó ser un excelente punto de partida para nuestra introducción al mundo de la inteligencia artificial. Al enfrentar las principales problemáticas del juego, como la recolección de monedas, la evasión de los fantasmas y el uso de píldoras energizantes, pudimos apreciar cómo la IA puede aprender y adaptarse en un contexto recreativo y competitivo.

La experiencia de desarrollar y comparar las tres IAs nos brindó una valiosa lección sobre la importancia de seleccionar el enfoque adecuado para resolver un problema específico. Cada algoritmo tenía sus fortalezas y debilidades, y las estrategias utilizadas por cada IA demostraron ser más efectivas en diferentes situaciones. Esto nos ha dado una perspectiva más profunda sobre cómo la toma de decisiones y la planificación estratégica pueden marcar una gran diferencia en el desempeño de la IA.

## Bibliografía/Referencias

- [1] P. Rohlfshagen, J. Liu, D. Pérez-Liévana and S. Lucas "Pac-Man Conquers Academia: Two Decades of Research Using a Classic Arcade Game". IEEE, pp. 1-3
- [2] H. Handa and M. Isozaki, "Evolutionary Fuzzy Systems for Generating Better Ms. PacMan Players," in Fuzzy Systems, 2008. FUZZ-IEEE 2008.(IEEE World Congress on Computational Intelligence). IEEE International Conference on. IEEE, 2008, pp. 2182–2185.
- [3] N. Bell, X. Fang, R. Hughes, G. Kendall, E. O'Reilly, and S. Qiu, "Ghost Direction Detection and other Innovations for Ms. Pac-Man," in IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games. IEEE Press, 2010, pp. 465–472.
- [4] K. Oh and S. Cho, "A Hybrid Method of Dijkstra Algorithm and Evolutionary Neural Network for Optimal Ms. Pac-Man Agent," in Second World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, 2010, pp. 239–243.