

<https://artnodes.uoc.edu>

ARTÍCULO

NODO «IA, ARTE Y DISEÑO: CUESTIONANDO EL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO»

El factor estético en la automatización de tareas lógicas: el caso del ajedrez

Santiago Rementeria-Sanz

GAIKER Technology Centre, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)

Fecha de presentación: febrero de 2020

Fecha de aceptación: junio de 2020

Fecha de publicación: julio de 2020

Cita recomendada

Rementeria-Sanz, Santiago (2020). «El factor estético en la automatización de tareas lógicas: el caso del ajedrez». En: Andrés Burbano; Ruth West (coord.) «AI, Arts & Design: Questioning Learning Machines». *Artnodes*, N.º. 26: 1-10. UOC. [Consulta: dd/mm/aa]. <http://doi.org/10.7238/a.v0i26.3338>



Los textos publicados en esta revista están sujetos –si no se indica lo contrario– a una licencia de Reconocimiento 4.0 Internacional de Creative Commons. La licencia completa se puede consultar en https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES.

Resumen

Es frecuente entre los ajedrecistas expertos la apelación a características del juego consideradas artísticas. Sin embargo, y a pesar de ser el ajedrez uno de los campos más estudiados en la historia de la inteligencia artificial, han sido pocos los intentos de automatizar el juicio estético de los grandes maestros. Ha prevalecido la demanda de eficacia, recurriendo a la potencia de búsqueda de arquitecturas *hardware* especializadas, complementadas con métodos heurísticos y criterios de evaluación codificados manualmente. Recientemente, sin embargo, el programa *AlphaZero*, desarrollado siguiendo una filosofía diferente, ha sorprendido no solo por su superioridad, sino también por lo imprevisto y atractivo de algunas de sus decisiones de juego. En este artículo se repasan los criterios de belleza asumidos en la práctica del ajedrez y se analiza el modo en que *AlphaZero* adquiere su capacidad experta, llegando a conclusiones sobre el papel del impulso estético en la toma de decisiones racional y sobre el modo en que los sistemas artificiales pueden mostrar un comportamiento original y atractivo en actividades lógicas como el ajedrez competitivo.

Palabras clave

ajedrez por ordenador, estética, toma de decisiones, aprendizaje automático, inteligencia artificial.

*The aesthetic factor in the automation of logical tasks: The case of chess***Abstract**

It is common among chess players to refer to game features considered to be artistic. However, despite chess being one of the most studied fields in artificial intelligence, far too little effort has been made to automate the aesthetic judgement of grandmasters. The quest for effectiveness has prevailed, resorting to the search power of dedicated hardware architectures complemented by heuristic methods and handcrafted evaluation criteria. Recently, however, the AlphaZero program, developed according to a different philosophy, has surprised not only because of its dominance, but also because of the unexpectedness and appeal of some of its game decisions. In this article we provide an overview of the beauty criteria assumed in chess practice, and analyse how AlphaZero acquires its expertise, drawing conclusions about the role of the aesthetic impulse in rational decision making and on how artificial systems can get to perform in an original and appealing manner in logical tasks like competitive chess.

Keywords

computer chess, aesthetics, decision making, machine learning, artificial intelligence

Introducción

El ajedrez es el paradigma de juego de tablero en la cultura occidental y la aplicación más largamente estudiada de la investigación en inteligencia artificial (Silver *et al.*, 2018: 1140). Aunque se trata de un juego de suma cero e información perfecta, la complejidad de su estructura combinatoria hace que no exista una estrategia demostrablemente óptima, pues, aunque el número total de movimientos alternos de las piezas es teóricamente finito, en la práctica resulta intratable.

El ajedrez computacional ha sido productivo en el sentido de que ha posibilitado avances en técnicas concretas, pero no ha favorecido el desarrollo de nuevas teorías sobre los procesos cognitivos ni sobre informática teórica (Ensmenger, 2012: 23). La aspiración de explorar los mecanismos de la inteligencia y simular los procesos del pensamiento humano se ha visto sobrepasada por el afán competitivo. El progreso ha venido de la mano de enormes potencias de cálculo que realizan búsquedas profundas en el árbol de movimientos permitidos, recurriendo a criterios heurísticos para limitar la exploración y utilizando funciones de evaluación afinadas manualmente (Newell y Simon, 1987: 314-317)¹. La arquitectura masivamente paralela de *Deep Blue*, el sistema dedicado que en 1997 venció al campeón del mundo Garry Kasparov en un *match* a seis partidas y en las condiciones de control

de tiempos de los torneos oficiales, era capaz de explorar hasta 200 millones de posiciones por segundo (Hsu, 2004). Todo ello llevó a lamentarse por la desviación de esta línea de investigación respecto a sus objetivos iniciales. Aferrándose a la analogía clásica entre el papel que desempeñan los programas de juegos como soporte de experimentación en inteligencia artificial y el de la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) en la genética, McCarthy afirmaba: «El ajedrez por ordenador se ha desarrollado de forma similar a como lo habría hecho la genética si los genetistas hubiesen concentrado sus esfuerzos comenzados en 1910 en la reproducción de *Drosophila* de carreras. Tendríamos algo de ciencia, pero sobre todo tendríamos moscas de la fruta muy rápidas» (1997: 1518).

Recientemente, sin embargo, se ha presentado un sistema capaz de vencer a los mejores programas de ajedrez, *shogi* (versión japonesa del anterior) y *go*, a su vez más capaces que los campeones humanos respectivos. Lo que podría parecer una mejora incremental en la codificación progresiva de estrategias de juego especializadas obedece, en realidad, a un cambio radical en el planteamiento de diseño de *AlphaZero*, como se denomina el sistema en cuestión. Su principal novedad reside en el hecho de que prescinde de la implantación preliminar de conocimiento específico y del acceso a bases de datos externas, aprendiendo a competir al nivel más alto jamás observado a partir del mero conocimiento de las reglas del

1. Cuando el tamaño del espacio de soluciones hace imposible una búsqueda exhaustiva en el tiempo disponible, se recurre a opciones estratégicas sugeridas por la experiencia, denominadas heurísticas. La búsqueda heurística no garantiza el éxito, pero permite orientar la exploración descartando los movimientos menos prometedores.

juego y tras entrenarse disputando contra sí mismo una gran cantidad de partidas (Silver et al., 2018).

Además de su superioridad competitiva, *AlphaZero* ha llamado la atención por la elegancia de algunas de las combinaciones exhibidas. Es esta novedad en el *estilo* de juego del sistema artificial la que lleva a repasar en las páginas siguientes los principales criterios de belleza contemplados en la práctica del ajedrez y comparar el concepto de diseño del nuevo sistema con el de los programas tradicionales para comprender por qué se comporta como lo hace. Se analiza también la naturaleza del juicio estético de los ajedrecistas de primer nivel, su posible relación con criterios prácticos aplicados intuitivamente y el modo en que *AlphaZero* emula esa capacidad.

La discusión en este artículo se centra en el ajedrez de competición, dejando de lado las composiciones, los problemas o estudios de finales de partidas que, aunque en opinión de autores como Ravilious (1994) constituyen el contexto en el que las cualidades estéticas del juego se manifiestan más plenamente, para otros muchos no resultan, en cambio, suficientemente realistas (Levitt y Friedgood, 2008).

1. El juicio estético en el ajedrez

En opinión de Bronstein y Smolyan, es el sentimiento estético el que orienta al intelecto en su proceso de búsqueda de combinaciones satisfactorias (1983: 27-28). La armonía en el desarrollo de la partida, la expresividad geométrica sobre el tablero y el despliegue imaginativo de las piezas reflejan un sentido de belleza que puede guiar a la mente entrenada a seleccionar el movimiento más adecuado. El jugador que saca provecho de su criterio estético puede identificar las exigencias y limitaciones de una posición determinada, concebir un plan lógicamente consistente, decidir un movimiento concreto o reconocer una combinación latente. Todo lo que nos resulta atractivo en una partida, sea una maniobra, trampa o final, el despliegue táctico o la armonía geométrica de la coordinación entre piezas, serían ejemplos de lo que denominan invariantes estéticos.

Estos autores analizan varios factores que tienen que ver con la creatividad en el ajedrez: 1) el placer que experimenta un jugador al concebir jugadas artísticas dignas de ser recordadas y registradas; 2) el gusto de los espectadores al disfrutar de una partida interesante; 3) «la misteriosa belleza del juego» y la posibilidad de evaluarla en función de cualidades como el atrevimiento, la imaginación y la fantasía; y 4) el entorno del juego que, aunque gobernado por un conjunto de reglas, se muestra lo suficientemente variado y flexible como para permitir al jugador expresar sus dotes artísticas. Así la partida puede ser apreciada por los espectadores –afirman– de modo similar a como se goza de la música o la arquitectura.

En esta misma línea, Humble considera que los lances de ajedrez deben disfrutarse principalmente como obras de arte, admitiendo que acaso debamos considerarlos menores en comparación con las

grandes creaciones artísticas que tratan sobre temas humanos mucho más profundos. El vocabulario expresivo es, además, notablemente más limitado que el disponible en otras formas de arte (1993: 62). Desde la perspectiva de este autor, una partida puede considerarse una obra artística si y solo si: 1) se produce con la intención principal de aportar una recompensa estética; 2) muestra características estéticas, entendiendo por tales las que requieren el ejercicio del gusto, la percepción o la sensibilidad para su apreciación o discriminación; y 3) es única. Siendo el número de posiciones legales sobre el tablero del orden de 10^{43} , y las posibles partidas de cuarenta jugadas cercanas a 10^{120} , existe margen para no repetirse (Fox y James, 1987: 166).

El quid del debate radica, sobre todo, en la primera condición, que puede resultar extrema por su carácter desinteresado. Al fin y al cabo, el ajedrez es un juego competitivo y se puede considerar que el objetivo de toda partida es la búsqueda del triunfo. Los campeonatos son auténticos combates intelectuales en los que se combinan argumentos psicológicos con los estrictamente asociados al juego para conquistar un reconocimiento que, además de prestigio, puede conllevar pingües retornos materiales. Por ello, resulta comúnmente aceptado que la naturaleza contendiente del ajedrez no está reñida con su condición artística. Osborne, por ejemplo, especula con la idea de que las características competitivas del juego pueden «proporcionar el interés necesario para captar y mantener la atención antes de que tenga lugar la apreciación de la belleza» (1964: 162). También para Humble (1993) algunas de las valoraciones estéticas que podemos realizar como espectadores guardan relación con la vertiente más deportiva o dramática del juego.

Un encuentro se puede juzgar bello en función de las dificultades que el jugador presente a su contrincante e igualmente se ensalzan estéticamente los movimientos con los que se asumen riesgos. En estas circunstancias, el uso de términos estéticos estaría relacionado con el criterio de dificultad y, por consiguiente, con consideraciones de tipo competitivo. De igual modo, la partida dada por perdida que un jugador recupera y vence luchando contra la tensión del momento y los últimos segundos del tiempo disponible es estéticamente más valorada que el mismo patrón de movimientos, formalmente elegante, armonioso e inventivo, si este se ha generado en la tranquilidad del estudio privado.

Los grandes campeones mundiales lo han expresado con diferentes palabras. Lasker, que conservó el título durante veintisiete años, dedicó un capítulo de su manual clásico de 1925 al «efecto estético del ajedrez» (1960: 261-283). En su opinión, la jugada bella debía conseguir un logro (capturar material, controlar espacios del tablero o hacer jaque mate) y ser «correcta» en el sentido de no dejar escape o defensa posible al oponente y ser el medio más económico de obtener el logro, pero no llegó a formalizar su intuición experta. Pensaba que la apreciación estética no es una experiencia reservada a los maestros, sino que es accesible a todos los miembros de la comunidad ajedrecista.

Capablanca, el sucesor de Lasker como campeón del mundo, tenía claro que los jugadores más celebrados y exitosos «no han

superado de ninguna manera a sus oponentes por medio de la lógica pura y simple, sino que fueron asistidos más a menudo que lo contrario por la imaginación. En el ajedrez practicado por un buen jugador la lógica y la imaginación deben ir de la mano, complementándose entre sí» (Winter, 1989: 301). La escuela hipermoderna de ajedrez, que floreció en los años veinte del siglo pasado, concedía gran importancia a la originalidad y se propuso revolucionar el juego valorando la creatividad y la consecución de la victoria de una manera brillante y artística (Saidy, 2008: 29-32). «Quiero ganar, deseo vencer a todo el mundo, pero quiero hacerlo con estilo», decía más recientemente Kasparov, dejando así patente su aspiración no solo a superar a sus adversarios, sino a hacerlo de una manera elegante (1986: 2). En realidad, prácticamente todos los campeones mundiales muestran interés en el aspecto estético del ajedrez y reconocen que este ha contribuido al desarrollo de su juego individual (Levitt y Friedgood, 2008).

2. Formalización de atributos estéticos

Juzgar las cualidades estéticas es una tarea subjetiva que suele estar afectada, además, por elementos culturales. La automatización del juicio estético resulta problemática por la dificultad de concreción y valoración de las características relevantes, pues los propios expertos tienden a ser poco específicos sobre los elementos subjetivos constitutivos de la belleza. La ventaja en entornos acotados como el del ajedrez es que las reglas del juego son idénticas en todas partes, al menos en su versión internacional, y la competición apenas está sujeta a influencias culturales y diferencias acusadas de opinión estética. Aunque el contexto puede llegar a sesgar el estilo de juego, sus objetivos y valores principales son, en la práctica, globales, y ello ha favorecido algunos intentos por hacer operativos los principios que orientan el sentimiento de belleza en este campo.

Le Lionnais (2002) había versado sobre la estética en el ajedrez ya en 1951, pero probablemente fuera Margulies (1977) el primero que estudió este aspecto experimentalmente, en su caso desde la perspectiva de la psicología. Concluyó los siguientes ocho «principios de belleza» a partir del juicio de treinta jugadores expertos:

- Violar las reglas heurísticas con éxito (realizar un movimiento que iría contra los principios aceptados de las buenas prácticas del ajedrez).
- Utilizar la pieza más débil posible (fomentar la economía de medios).
- Usar todo el potencial de cada pieza (favorecer los desplazamientos largos).
- Dar mayor valor estético a las casillas críticas (enfatar la pieza más implicada en el objetivo).
- Utilizar una pieza poderosa en vez de varias menores (primar la eficiencia).

El factor estético en la automatización de tareas lógicas: el caso del ajedrez

- Emplear recursos relevantes del juego (ataque doble, clavada, atracción, horquilla, etc.).
- Evitar los estereotipos insulsos (favorecer la originalidad y las posiciones poco habituales).
- Ni la rareza ni la dificultad producen belleza por sí mismas (matización del principio anterior).

El autor también interrogó a jugadores de menor nivel que, *grosso modo*, coincidieron con los criterios de los expertos. Esto vendría a corroborar la sugerencia de Lasker (1960: 263) de que el único requisito para apreciar la belleza en el ajedrez es su comprensión e interés, no la maestría en él. El psicólogo y gran maestro Fine (1978) critica el hecho de que Margulies ignore ingredientes inconscientes como los psicoanalíticos, que él sí valora.

Para Damsky (2002) una combinación brillante debería presentar las siguientes características: oportunidad o eficacia, disimulo (de manera que los movimientos clave no descubran el objetivo último de forma inmediata), sacrificio (no exclusivamente referido a piezas, sino también a la movilidad u otras ventajas intangibles), corrección (enfrentándose a la defensa del oponente), preparación (sofisticación del juego inicial), paradoja (movimientos aparentemente en contra del sentido común del juego), unidad (alineamiento de los movimientos de todas las piezas hacia el objetivo común) y originalidad (cuya valoración contiene una dosis de subjetividad).

Otras fuentes recogen ideas similares. El gran maestro Levitt y el problemista Friedgood, por ejemplo, identifican cuatro elementos de belleza en el ajedrez (2008): la paradoja (hacer algo que normalmente no se esperaría de uno), la profundidad (de forma que el objetivo del movimiento clave no se comprende al principio, pero se aclara más adelante), la geometría (formación de efectos visuales o patrones concretos sobre el tablero) y el flujo (secuencia de movimientos que resultan inevitables, frente a la posibilidad de variaciones complicadas).

3. Modelos computacionales

Ante la importancia que los jugadores avanzados otorgan al factor estético en la práctica del ajedrez, se plantea la cuestión de hasta qué punto un ordenador podría reconocer y ejecutar jugadas que las personas aprecian por su belleza. Además de contribuir al desarrollo de programas más eficaces que los tradicionales, la aplicación de modelos estéticos podría resultar útil para conseguir estilos de juego más atractivos, simular distintas personalidades de contendientes, automatizar la búsqueda de partidas bellas en bases de datos especializadas o desarrollar programas mejorados para la composición de problemas, entre otras aplicaciones.

Seguramente han sido dos los factores que han influido en la escasez de referencias sobre este tema. El primero es el énfasis

obsesivo de las últimas décadas por mejorar el nivel de juego de los ordenadores. El segundo motivo sería la doble asunción de que: 1) no existe una manera fiable de cuantificar los aspectos menos lógicos del juego; y 2) la codificación de criterios estrictamente lógicos debería bastar a la hora de programar estrategias competitivas eficaces.

Respecto al primero de estos puntos, los autores de uno de los mejores programas de composición de problemas admiten que «no es sencillo definir conceptos como la belleza, originalidad, singularidad de la solución y dificultad de resolución» (Fainshtein y HaCohen-Kerner, 2006: 33). El segundo punto guarda relación con el modelo de programación manual que ha prevalecido históricamente en el desarrollo del ajedrez por ordenador.

A continuación, se repasan las dos alternativas existentes para incorporar conocimiento especializado en un sistema informático, que en principio serían igualmente válidas para codificar algún tipo de juicio estético en un jugador de ajedrez artificial.

3.1. Programación manual

Según la perspectiva convencional se programaría explícitamente un conjunto de criterios como los discutidos en la sección anterior, buscando emular los aspectos que un jugador experimentado valoraría al juzgar como bella una combinación determinada. Este es el planteamiento seguido por Walls (1997) e Iqbal y Yaacob (2008) en composiciones de finales y en el juego competitivo, respectivamente. En sus aproximaciones e implantaciones parciales parten de la idea de que las técnicas de representación y los algoritmos de búsqueda comúnmente utilizados en los programas especializados bastarían para simular la percepción estética de un ajedrecista avanzado, siempre que se consideren las reglas heurísticas adecuadas y que la función de evaluación incluya la valoración expresa de dichos criterios.

La abrumadora mayoría de los diseñadores de sistemas de ajedrez programados manualmente ha optado, sin embargo, por la codificación del conocimiento experto de carácter más racional, expresable y cuantificable, dejando de lado aspectos como el estético, de formalización difusa y cuya contribución al triunfo resulta menos evidente.

Las arquitecturas convencionales culminadas con *Deep Blue* y sus variantes siguen esta senda de la programación manual, recurriendo a versiones del algoritmo de exploración de árboles de decisión *minimax* adelantado por Claude Shannon en sus experimentos pioneros (1950), junto con criterios heurísticos como la poda *alpha-beta* y otras para valorar las posiciones no terminales, abundante conocimiento expreso encapsulado en numerosas reglas y pautas aportadas por jugadores expertos, y en los parámetros y coeficientes de una función de evaluación lineal. Este arsenal de recursos, junto con la posibilidad de consultar enormes bases de datos con aperturas, despliegues intermedios y finales de partidas, intenta cubrir toda eventualidad del juego sin dejar margen para sorpresas.

3.2. Aprendizaje automático

Ante la dificultad para encapsular el juicio estético de los ajedrecistas expertos en unos criterios computables que, además, favorezcan el avance hacia posiciones de tablero ventajosas, el paradigma alternativo consiste en diseñar sistemas capaces de adquirir esos criterios, u otros que se manifiesten de forma análoga, valiéndose de una facultad genérica de aprendizaje automático. Esta aptitud les permitiría distinguir las jugadas prometedoras a partir de su propia experiencia.

AlphaZero (Silver *et al.*, 2018) es el último heredero de esta línea de trabajo emprendida por Arthur Samuel en los años cincuenta, con su programa pionero para jugar a las damas (1995), y que continuarían investigadores que han desarrollado sistemas aprendices para otros juegos de tablero (Tesauro, 1995). Las estrategias aplicadas en estos casos no han sido programadas manualmente, sino aprendidas de forma autónoma y empírica.

AlphaZero tiene dos componentes principales: una red neuronal profunda que se entrena jugando contra sí misma para aprender el equivalente a una función de evaluación (en este caso, no lineal), y un algoritmo de búsqueda para seleccionar el siguiente movimiento. La arquitectura neuronal contiene una secuencia de capas convolucionales con funciones de filtrado, normalización y rectificación que se desdobra en dos módulos especializados con estructuras diferentes. Como entrada del conjunto se representa la configuración del tablero y la historia de los últimos movimientos, y la salida consiste, por un lado, en la probabilidad de que cada movimiento posible sea el mejor en la situación actual y, por otro, en la estimación del resultado final de la partida: victoria, derrota o tablas.

La distribución de probabilidades obtenida se utiliza para guiar una búsqueda acotada en el espacio problema y el resultado final previsto por la red sirve para evaluar las posiciones analizadas durante el proceso. A diferencia de lo que ha sido habitual durante décadas, el algoritmo de exploración no es una variante del clásico *alpha-beta*, sino otro genérico conocido como árbol de búsqueda MonteCarlo, o MCTS, que, en vez de realizar la evaluación *minimax* de un subárbol, promedia la evaluación de las posiciones que contiene. *AlphaZero* considera unas sesenta mil posiciones por segundo antes de cada movimiento, frente a los aproximadamente sesenta millones del sistema de ajedrez convencional más avanzado.

Durante el juego se elegirá el movimiento que resulte en una mayor probabilidad de éxito tras 800 simulaciones MCTS, pero en la fase exploratoria se seleccionan de forma estocástica. Estos movimientos proporcionan la secuencia de estados del tablero que constituirán las entradas durante el entrenamiento de la red neuronal, los pesos de cuyas conexiones, aleatorios al comienzo, se ajustan según un algoritmo de aprendizaje «por refuerzo» en el que se recompensan las acciones útiles (Sutton y Barto, 1998). La actualización de dichos parámetros sigue un método de descenso del gradiente que busca minimizar el error entre el resultado estimado de la partida tras cada

movimiento y el real observado finalmente, así como maximizar la similitud entre las probabilidades obtenidas en las salidas de la red neuronal y las actualizadas por el algoritmo MCTS. A medida que la red aprende, la búsqueda también resulta más eficiente, aportando a su vez mejores estimaciones de probabilidades para entrenar la estructura neuronal. Tras cuarenta y cuatro millones de partidas disputadas contra sí mismo en nueve horas, este ciclo virtuoso de mejora permite que el sistema sea capaz de reconocer los patrones relevantes que explotará después en la competición.

Partiendo del simple conocimiento de las reglas del juego, ignorando cualquier valor relativo de las piezas y con una carencia absoluta de nociones estratégicas y tácticas, *AlphaZero* adquiere criterios de evaluación propios (los denominaríamos valores, estrategias e intuiciones en el caso de los ajedrecistas humanos) que le llevan a mostrar una determinación y profundidad inauditas. Su superioridad se basa en la correcta previsión por parte de la red entrenada de los efectos de cada movimiento para identificar los más prometedores, y no tanto en lo exhaustivo de sus búsquedas.

El sistema ha redescubierto por su cuenta las aperturas más frecuentes y exhibido combinaciones creativas que nunca esperaríamos de un programa de ajedrez tradicional. Los sacrificios a cambio de ventajas a largo plazo y el desprecio del valor material de las piezas frente a la toma de iniciativa y la armonía en el despliegue, por ejemplo, forman parte de un estilo «dinámico y abierto», con decisiones «arriesgadas y agresivas» (Kasparov, 2018). Entre tales decisiones, que los mejores ajedrecistas reconocen como relativamente «humanas», las hay también estéticamente atractivas².

Entrenado *exclusivamente* para imponerse a su adversario, el carácter homogéneo y eficaz del conocimiento práctico asimilado por *AlphaZero* durante su fase de aprendizaje le lleva a exteriorizar un comportamiento con facetas que las personas asignamos a categorías diversas. El sistema artificial ignora toda convención o sesgo cultural y, entre sus decisiones, que siempre buscan el triunfo final, reconocemos tanto algunas que calificaríamos como lógicas o previsibles, como otras que nos sorprenden por su efecto inesperado y bello. Esta discriminación, sin embargo, obedece exclusivamente a la percepción del espectador humano, pues, como se ha visto, toda decisión de *AlphaZero* responde a un mismo principio de utilidad que el programa ha asimilado de forma autónoma. No ha sido necesario trasladar al *software* ningún criterio asumido en la práctica experta del ajedrez, incluidos entre estos los referidos a factores estéticos.

Mas no todo son ventajas. Este sistema demanda muchos recursos computacionales (cinco mil unidades de procesamiento específicas, o TPU, para generar las partidas de entrenamiento, sesenta y cuatro TPU de segunda generación para entrenar la red neuronal y seis TPU en la fase de evaluación), y presenta limitaciones

en lo referido a su fragilidad (como en toda red neuronal es crítico el ajuste de los hiperparámetros) y opacidad (Campbell, 2018). La falta de transparencia es un inconveniente conocido de este tipo de estructuras multicapa: así como toda decisión de un sistema tradicional *à la Deep Blue* se puede trazar y explicar sin restricción alguna por haber sido codificados sus criterios de forma expresa, las muy eficaces estrategias de *AlphaZero* son, en su mayor parte, inasequibles. No podemos estar seguros sobre la forma matemática o conceptual de las pautas en las que basa sus decisiones. Aunque no tan relevante en el entorno de los juegos, esta salvedad resulta fundamental a la hora de valorar la aplicabilidad de los sistemas de aprendizaje profundo en situaciones realistas de ámbitos como el médico, industrial o financiero, por ejemplo, en las que tan importante es tomar las decisiones adecuadas como poder explicar las razones por las que se toman estas frente a otras alternativas.

4. Percepción y toma de decisiones en jugadores humanos y artificiales

Los ajedrecistas expertos explotan estructuras de conocimiento desarrolladas durante largos periodos de práctica específica que después son capaces de identificar y recuperar ante nuevas situaciones para acelerar la toma de decisiones (Gobet y Charness, 2006). O, dicho de un modo más expresivo, «el maestro de ajedrez “ve” el movimiento correcto» (Chase y Simon, 1973: 56). Los procesos cognitivos subyacentes, que consisten en el reconocimiento automático y reflejo de patrones o estructuras, se suelen asociar a la intuición y existen diversas hipótesis sobre la naturaleza de los resortes psicossomáticos implicados (Jung *et al.*, 2013). Acaso la más conocida sea la que sugiere que la anticipación de las posibles consecuencias de una elección racional genera respuestas de origen emocional que guían el proceso de decisión simplificándolo, acelerándolo y atenuando los posibles conflictos entre alternativas (Damasio, 2005). Esa respuesta asociada a un conjunto de estímulos es la reacción subjetiva y somática del individuo ante las consecuencias que hayan podido tener decisiones previas en un contexto comparable.

Los mecanismos cognitivos de la mente ajedrecista experta implicados en la preselección de elementos estarían entonces mediados por circuitería neuronal de marcación somática o similar (Reimann y Bechara, 2010). La decisión intuitiva asociada sería una respuesta emocional que, atendiendo al modo en que los mejores jugadores verbalizan su propia experiencia, puede ser de carácter estético. La belleza percibida constituiría así un marcador útil para reconocer movimientos y combinaciones prometedoras en un sentido

2. Los «materiales suplementarios» de (Silver *et al.*, 2018) incluyen detalles sobre la arquitectura y el funcionamiento de *AlphaZero*, así como la transcripción de veinte de las partidas jugadas contra *Stockfish*, el programa más competitivo hasta el momento.

interesado: el de avanzar hacia posiciones de superioridad en el tablero que eventualmente permitan la victoria en la partida. Solo después de dicha preselección de patrones se activaría el proceso reflexivo y consciente para evaluar analíticamente la solidez de las acciones asociadas explorando moderadamente el árbol de decisión, ya considerablemente filtrado y reducido.

Klein (1993) propone un modelo de decisión rápida en dos fases en el que el reconocimiento espontáneo y ágil de un patrón basado en experiencias anteriores va seguido de un proceso analítico y consciente que estima las consecuencias de una o más acciones determinadas. Este esquema es también compatible con la teoría sobre el comportamiento experto que enfatiza la facultad de acceso a una base rica de experiencias mediante el reconocimiento preliminar de patrones (Chase y Simon, 1973; Gobet y Simon, 1998).

El hecho de que los grandes maestros sean más eficaces y atinados que jugadores menos expertos, aunque en realidad no contemplan más de unas decenas de configuraciones antes de cada decisión comprometida, sus evaluaciones son de tipo cualitativo o comparativo y su capacidad de exploración es relativamente acotada, confirmaría la existencia de algún mecanismo como los propuestos por estos autores para optimizar el proceso de búsqueda.

La situación recuerda al modo en que declaran operar científicos y matemáticos ilustres, para quienes la estricta aplicación de criterios lógicos no bastaría por sí sola para explicar el proceso creativo en toda su extensión y versatilidad. Poincaré, por ejemplo, asume en su descripción de la creatividad en las matemáticas que algún tipo de filtro inconsciente permite a la mente inventiva, en un momento de «iluminación súbita», descartar las alternativas estériles y seleccionar un número manejable de ellas para analizarlas en «un segundo periodo de trabajo consciente, el que sigue a la inspiración». El espacio de opciones resultaría inabarcable sin el componente intuitivo que Poincaré asocia a la armonía y elegancia: «esa sensibilidad estética especial es la que representa el papel de criba delicada» (1910: 52-61).

También algunos científicos teórico-empíricos asocian el atractivo estético a este tamiz irreflexivo (Chandrasekhar, 1987; Root-Bernstein, 1997). Como sucede en el ajedrez, la percepción de belleza que algunos físicos reconocen en su actividad es de carácter puramente intelectual, y el lenguaje matemático al que recurren es igualmente formal, aunque mucho más rico y complejo que las simples reglas de un juego de tablero. Otra característica común es la condición finalista o pragmática de ambas actividades, buscándose el triunfo en el juego competitivo, y el potencial explicativo o la adecuación empírica en el caso de las teorías físicas (McAllister, 1996).

Volviendo al caso del ajedrez, el enfoque computacional de los sistemas tradicionales no encaja adecuadamente en el modelo de

razonamiento experto en dos etapas descrito, al ignorar la primera fase y fiar su hegemonía a la potencia de cálculo de arquitecturas especializadas, analizando minuciosamente el árbol de alternativas, con múltiples estrategias de poda de las ramas no prometedoras y funciones de evaluación cuantitativas que incorporan una cantidad considerable de conocimiento específico, además de contar con acceso a bases de datos centradas en las distintas fases del juego. Holding (1992) es uno de los referentes de la línea teórica que prima la capacidad de búsqueda a través del espacio de soluciones.

AlphaZero, en cambio, es compatible con el modelo dual de toma de decisiones al cubrir no solo la segunda, sino también la primera fase del proceso, la más perceptual del juego exhibido por los ajedrecistas expertos. El enorme caudal de experiencia amasada, a través de años de práctica constante y una amplia actividad cognitiva en el caso de los jugadores humanos, y en la fase de entrenamiento de la red neuronal jugando millones de partidas contra sí misma en el caso de *AlphaZero*, es recuperable de forma indeliberada cuando la situación lo requiere y permite reducir considerablemente la posterior fase exploratoria de las alternativas³.

Desde la perspectiva del proceso de decisión, entonces, lo que en el caso de un gran maestro se apreciaría como una criba de alternativas emocional, intuitiva o estética, para *AlphaZero* no supone sino la identificación de un patrón codificado y empíricamente validado como ventajoso. De alguna forma, el nuevo sistema materializa así tanto la conjetura de que «la mayoría de los saltos intuitivos son actos de reconocimiento» (Simon, 1981: 105) como la de que «las combinaciones útiles son precisamente las más bellas» (Poincaré, 1910: 57).

Conclusiones

La irrupción de *AlphaZero* ha alterado el panorama ajedrecista por su nivel competitivo y por tratarse de un sistema basado en mecanismos de propósito general que aprende, *tabula rasa* y a partir de su propia experiencia, criterios y estrategias que también han sorprendido por su atrevimiento y originalidad. Ajeno a cualquier codificación manual de criterios estéticos, su estilo de juego no solo es extremadamente práctico, sino también más creativo que el de los programas convencionales, desplegando movimientos que, además de reflejar un propósito bien definido, resultan atractivos para el espectador. El detalle, impensable hasta ahora en el ajedrez por ordenador, nos ha llevado a analizar la relación de *AlphaZero* con los criterios de belleza en el juego y a reflexionar sobre la naturaleza del juicio estético en la toma de decisiones de los ajedrecistas expertos.

3. En la historia de los juegos por ordenador se ha recurrido a ambos planteamientos. Mientras el primer programa que obtuvo el título de campeón mundial de damas frente a jugadores humanos era, fundamentalmente, un motor de búsqueda especializado (Schaeffer *et al.*, 1996), el primero que derrotó al campeón mundial de *backgammon* primaba el reconocimiento de patrones frente a los procesos de exploración (Berliner, 1980).

Debe tenerse en cuenta que el nuevo sistema no es fruto de la investigación en creatividad computacional ni busca replicar algún tipo de inteligencia artística. A pesar de ello, del análisis realizado se pueden extraer varias conclusiones relacionadas con la percepción estética y su automatización:

Para que un sistema artificial genere un resultado bello, o tome decisiones que las personas aprecien por su atractivo, no es indispensable la programación explícita de criterios estéticos.

- Los ajedrecistas humanos consideran natural la dicotomía entre el tipo de decisiones estrictamente lógicas que derivan en un estilo de juego racional y previsible, y otras guiadas por un impulso estético que posibilitan un planteamiento más creativo y atractivo para el espectador. El carácter arbitrario de esta segregación queda de manifiesto, sin embargo, cuando quien despliega un juego no solo inesperadamente práctico, sino también original y sugestivo es un sistema artificial que aprende por sí solo las mejores estrategias *competitivas*, de modo que todas sus decisiones obedecen en realidad a un mismo e interesado criterio de utilidad.
- En la toma de decisiones por parte de expertos humanos el juicio estético, entendido como el reconocimiento de patrones atractivos, puede operar como recurso «intuitivo» para acotar la búsqueda de soluciones eficaces a problemas racionales. Es precisamente un mecanismo de identificación y recuperación de patrones el que explota principalmente *AlphaZero*, frente al énfasis en la fase de exploración del espacio de soluciones de los sistemas tradicionales.
- El gusto entrenado, que se puede manifestar como sensibilidad estética en una actividad como el ajedrez, podría guardar relación –centrándose en atributos diferentes– con lo que manifiestan expertos de otras disciplinas propias del pensamiento lógico y más complejas. Esta conexión podría contribuir, en concreto, a una mejor comprensión del papel desempeñado por la percepción estética en el razonamiento matemático y las ciencias teórico-empíricas.

Referencias bibliográficas

- Berliner, Hans J. 1980. «Backgammon Computer Program Beats World Champion». *Artificial Intelligence* 14(1): 205-220.
- Bronstein, David I. y Smolyan, George L. 1983. *Chess in the Eighties*. Londres: Macmillan.
- Campbell, Murray. 2018. «Mastering board games». *Science* 362(6419) (7 December): 1118. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aan4880>
- Chandrasekhar, Subrahmanyan. 1987. *Truth and Beauty: Aesthetics and Motivations in Science*. Chicago: University of Chicago Press.
- Chase, William G. y Herbert A. Simon. 1973. «Perception in Chess». *Cognitive Psychology* 4(1): 55-81. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90004-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90004-2)
- Damasio, Antonio. 2005. *Descartes' Error. Emotion, Reason, and the Human Brain*. Nueva York: Penguin.
- Damsky, Iakov. 2002. *Chess Brilliancy: 250 Historic Games from the Masters*. Londres: Everyman Publishers.
- Ensmenger, Nathan. 2012. «Is chess the drosophila of artificial intelligence? A social history of an algorithm». *Social Studies of Science* 42(1): 5-30. <https://doi.org/10.1177/0306312711424596>
- Fainshtein, Fridel y Yaakov HaCohen-Kerner. 2006. «A Chess Composer of Two-Move Mate Problems». *ICGA Journal* 29(1): 32-39.
- Fine, Reuben. 1978. «Comment on the Paper, "Principles of Beauty", by Stuart Margulies». *Psychological Reports* 43(1): 62.
- Fox, Mike y Richard James. 1987. *The Complete Chess Addict*. Londres: Faber and Faber.
- Gobet, Fernand y Neil Charness. 2006. «Expertise in Chess». En *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance*, editado por K. Anders Ericsson, Neil Charness, Paul J. Feltovich y Robert R. Hoffman, 523-538. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816796.030>
- Gobet, Fernand y Herbert A. Simon. 1998. «Expert Chess Memory: Revisiting the Chunking Hypothesis». *Memory* 6(3): 225-255. <https://doi.org/10.1080/741942359>
- Holding, Dennis H., 1992. «Theories of Chess Skill». *Psychological Research* 54(1): 10-16. <https://doi.org/10.1007/BF01359218>
- Hsu, Feng-Hsiung. 2004. *Behind Deep Blue: Building the Computer that Defeated the World Chess Champion*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Humble, P.N. 1993. «Chess as an Art Form». *British Journal of Aesthetics* 33(1): 59-66. <https://doi.org/10.1093/bjaesthetics/33.1.59>
- Iqbal, Azlan y Mashkuri Yaacob. 2008. «Theme Detection and Evaluation in Chess». *ICGA Journal* 32(2): 97-109. <https://doi.org/10.3233/ICG-2008-31204>
- Jung, Wi Hoon, Sung Nyun Kim, Tae Young Lee, Joon Hwuan Jang, Chi-Hoon Choi, Do-Hyung Kang y Jun Soo Kwon. 2013. «Exploring the brains of *Baduk* (Go) experts: gray matter morphometry, restingstate functional connectivity, and graph theoretical analysis». *Frontiers in Human Neuroscience* 7: 19-35. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00633>
- Kasparov, Garry. 1986. *Kasparov Teaches Chess*. Londres: B.T. Batsford.
- Kasparov, Garry. 2018. «Chess, a Drosophila of reasoning». *Science* 362(6419) (7 December): 1087. <https://doi.org/10.1126/science.aaw2221>
- Klein, Gary A. 1993. «A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making». En *Decision Making in Action: Models and Methods*, editado por Gary A. Klein, Judith Orasanu, Roberta Calderwood y Caroline E. Zsombok, 138-147. Norwood, NJ: Ablex.

- Lasker, Emanuel. 1960. *Lasker's Manual of Chess*. Nueva York: Dover.
- Le Lionnais, François. 2002. *Les Prix de Beauté aux Échecs*. 3.ª ed. París: Payot.
- Levitt, Jonathan y David Friedgood. 2008. *Secrets of Spectacular Chess*. 2.ª ed. Londres: Everyman Chess.
- Margulies, Stuart. 1977. «Principles of Beauty». *Psychological Reports* 41(1): 3-11. <https://doi.org/10.2466/pr0.1977.41.1.3>
- McAllister, James W. 1996. *Beauty and Revolution in Science*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- McCarthy, John. 1997. «AI as Sport». *Science* 276(5318) (6 June): 1518-1519. <https://doi.org/10.1126/science.276.5318.1518>
- Newell, Allen y Herbert A. Simon. 1987. «Computer Science as Empirical Enquiry: Symbols and Search». En *ACM Turing Award Lectures. The First Twenty Years: 1966-1985*, editado por Robert L. Ashenurst y Susan Graham, 287-317. Nueva York: ACM Press.
- Osborne, Harold. 1964. «Notes on the Aesthetics of Chess and the Concept of Intellectual Beauty». *British Journal of Aesthetics* 4(2): 160-163.
- Poincaré, Henri. 1910. *La Ciencia y el Método*. Madrid: Librería Gu-
tenberg.
- Ravilious, C. P. 1994. «The Aesthetics of Chess and the Chess Problem». *British Journal of Aesthetics* 34(3): 285-290. <https://doi.org/10.1093/bjaesthetics/34.3.285>
- Reimann, Martin y Antoin Bechara, A. 2010. «The somatic marker framework as a neurological theory of decision-making: Review, conceptual comparisons, and future neuroeconomics research». *Journal of Economic Psychology* 31(5): 767-776. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2010.03.002>
- Root-Bernstein, Robert. 1997. «The sciences and arts share a common creative aesthetic». En *The Elusive Synthesis: Aesthetics and Science*, editado por Alfred I. Tauber, 49-82. Dordrecht: Kluwer Academic.
- Saidy, Anthony. 2008. *La batalla de las ideas en ajedrez*. Pamplona: Ediciones MA40.
- Samuel, Arthur L. 1995. «Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers». En *Computers and Thought*, editado por Edgar A. Feigenbaum y Julian Feldman, 71-107. Menlo Park, CA: American Association for Artificial Intelligence.
- Schaeffer, Jonathan, Robert Lake, Paul Lu y Martin Bryant. 1996. «Chinook: The Man-Machine World Checkers Champion». *AI Magazine* 17(1): 21-29. <https://doi.org/10.1609/aimag.v17i1.1208>
- Shannon, Claude E. 1950. «Programming a Computer for Playing Chess». *Philosophical Magazine* 41(314): 256-275. <https://doi.org/10.1080/14786445008521796>
- Silver, David, Thomas Hubert, Julian Schrittwieser, Ioannis Antonoglou, Matthew Lai, Arthur Guez, Marc Lanctot, Laurent Sifre, Dhharshan Kumaran, Thore Graepel, et al. 2018. «A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play». *Science* 362(6419) (7 December): 1140-1144. <https://doi.org/10.1126/science.aar6404>
- Simon, Herbert A. 1981. *The Sciences of the Artificial*. 2.ª ed. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sutton, Richard y Andrew Barto. 1998. *Reinforcement Learning: An Introduction*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Tesauro, Gerald. 1995. «Temporal difference learning and TD-Gammon». *Communications of the ACM* 38(3): 58-68. <https://doi.org/10.1145/203330.203343>
- Walls, Ben P. 1997. *Beautiful Mates: Applying Principles of Beauty to Computer Chess Heuristics*. Irvine, CA: Dissertation.Com.
- Winter, Edward. 1989. *Capablanca: A Compendium of Games, Notes, Articles, Correspondence, Illustrations and Other Rare Archival Material on the Cuban Chess Genius José Raúl Capablanca, 1888-1942*. Jefferson, NC: McFarland.

CV



Santiago Rementeria-Sanz

GAIKER Technology Centre, Basque Research and Technology Alliance (BRTA)
rementeria@gaiker.es

Santiago Rementeria-Sanz es director general del Centro Tecnológico GAIKER. Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad del País Vasco y graduado en Historia del Arte por la UNED, fue *visiting scientist* en la Universidad Carnegie Mellon de Pittsburgh, Estados Unidos, colaborando en el diseño de sistemas de aprendizaje automático. Su tesis doctoral se centró en el desarrollo y la validación de un nuevo tipo de red neuronal y algoritmo de entrenamiento.

La carrera profesional de Santiago está ligada a la I+D y la innovación tecnológica en el mundo empresarial, habiendo sido directivo, consejero y consultor de compañías internacionales en los sectores TIC, energía y espacio. Ha colaborado con la Comisión Europea como evaluador de propuestas y revisor de proyectos de investigación, e impartido clases en cursos de máster en varias universidades.

Es autor de publicaciones sobre cuestiones de inteligencia artificial, ingeniería del software, redes eléctricas y gestión empresarial. Gradualmente su atención se ha ido orientando, sin embargo, hacia temas histórico-artísticos, y sus intereses actuales se centran en la interpretación del juicio estético en las ciencias analíticas y en la relación entre el arte, la tecnología y el poder en sus distintas manifestaciones.