

El Cambio de Paradigma en la Física Moderna: Inteligencia Artificial y Ciencia *Open Source*

Hasta ayer como quien dice, la física era una ciencia relativamente solitaria, al menos en su vertiente menos aplicada. Todo el mundo se puede imaginar a una suerte de Tycho Brahe observando el cosmos a solas en su isla, o a una Emmy Noether con interminables páginas de cálculos analíticos.

Cualquier revolución o descubrimiento en la física fue en su mayor parte un proceso muy individual hasta bien entrado el siglo XX. E incluso entonces, las incipientes colaboraciones científicas se limitaban a un grupo de investigación, un departamento universitario, con un puñado de mentes enfrentadas a un problema común.

Sin embargo, hace ya unos años que este método científico tradicional ha sido sustituido en su mayor parte por una ciencia más colaborativa y abierta. Es decir, enormes grupos de cientos de talentos dedicados durante años a un único experimento y ofreciendo sus datos de forma pública. Y además, quizás como causa, quizás como consecuencia, tenemos una ciencia cada vez más apoyada en la inteligencia artificial.

Devil is in the details

Las cosas como son, con la física de finales del siglo XIX podíamos explicar el 99% del mundo cotidiano que nos rodea. Es bien conocida la anécdota de Max Planck, a quien su profesor de instituto le dijo que se dedicara a otra cosa porque la física estaba “resuelta”. Y vamos si no lo estaba.

Como dicen los angloparlantes, *devil is in the details*, es decir, a veces es cuestión de mirar el tercer o cuarto decimal que no cuadra con la teoría, porque empieza a haber sorpresas. Parece absurdo aplicar a nuestro día a día la Relatividad de Einstein en lugar de la gravitación newtoniana, y sin embargo sin ella Google Maps no funcionaría.

Desde entonces, principalmente se ha investigado aquello muy grande o muy pequeño. Entendemos la acústica de un conjunto de altavoces o la termodinámica de un motor a reacción, pero no tenemos ni idea de qué es la materia oscura o cuál es la masa del neutrino. Y responder a cuestiones tan abstractas requiere experimentos grandes. Muy grandes.

Galileo Galilei construyó su propio telescopio para observar las lunas de Júpiter. Sin embargo, todo se ha ido volviendo más preciso, más exacto, más exigente. Nos hacemos preguntas exponencialmente complicadas sobre el mundo que nos rodea. Ya no cavilamos sobre qué es el Sol exactamente o cómo produce su energía, sino que estimamos su actividad superficial en base a las manchas que aparecen y desaparecen. No pensamos por qué algunos puntos en el cielo titilan y otros no, sino que cuestionamos los mecanismos de acreción de los agujeros negros. Y responder a estas preguntas exige sobre todo una cosa: datos.

Y así, cuatro siglos tras Galileo, seguimos preguntándonos de qué están hechas las cosas, qué hay más allá. Pero en vez de un solitario hombre en su taller de Padua, lo que tenemos ahora son máquinas hipersofisticadas, como el LHC, el JWST, LIGO, CTA, y un larguísimo etcétera. Y todas ellas construidas, operadas y explotadas por equipos multidisciplinares y diversos de cientos o miles de personas, enriqueciendo la mezcla con diferentes puntos de vista. Si queremos arrinconar un poco más nuestra ignorancia, el único camino es una ciencia colaborativa.

Morir de éxito

El método científico tradicional se basa en lo empírico: se diseña un experimento, con unas condiciones lo más controladas posibles, se realizan medidas de un fenómeno físico, y se anotan sus resultados. Después, se repite el experimento varias veces, quizás variando ligeramente algún parámetro para ver cómo afecta al mismo. Finalmente, detectamos patrones en esos datos, que nos permiten desarrollar una teoría y comprobar si ésta es capaz de explicarlos¹.

En el fondo el método es el mismo, sólo que el volumen y riqueza de esos datos ha ido creciendo exponencialmente en las últimas décadas. Ya no tenemos placas fotográficas para ver galaxias o detectar trazas de partículas, sino giga-, tera- o incluso petabytes de información, recogida diligentemente en esos experimentos. En el fondo, estos portentosos ingenios son sólo creadores y recopiladores de datos.

El problema es que toda esta información ya no es entendible por un cerebro humano. La física “murió de éxito”: conseguía tantos datos y tan precisos que con herramientas estándar ya no era posible procesarlos. Había que recurrir a algo nuevo. Afortunadamente, el fenómeno del *zeitgeist* vino a nuestro rescate con alguno de los conceptos más de moda en la actualidad: Big Data, Inteligencia Artificial (IA), Machine Learning...

Todas estas tecnologías permiten la automatización del análisis y la identificación de patrones complejos que escapan a la percepción humana. La IA, cuyo nacimiento se suele situar en la década de los 50, es un campo aún incipiente y al mismo tiempo lo suficientemente maduro como para que resulte imprescindible en la física moderna. Los algoritmos de machine learning pueden ser entrenados para reconocer patrones arbitrariamente complejos y ocultos en los datos, lo que resulta especialmente útil en áreas como la cosmología, la astrofísica y la física de partículas. Por citar un ejemplo rápido, en la detección de ondas gravitacionales hace menos de una década, la IA fue crucial para filtrar las débiles señales y limpiar el ruido de fondo.

Asimismo, cada vez más colaboraciones científicas ofrecen sus datos en abierto, habitualmente tras un período de embargo. Esto, lejos de ser una desventaja es una enorme virtud, que permite no sólo la reproducibilidad de los análisis en los *papers* oficiales de la colaboración sino que cualquiera con las nociones técnicas pueda realizar sus propias investigaciones, enriqueciendo el conocimiento que se puede obtener de un experimento, haciéndolo más rentable científicamente. De hecho, en muchos casos incluso se ofrecen tutoriales oficiales para poder analizar los datos sin ser un experto en ese campo en concreto. Si bien esta ciencia abierta era la excepción en el pasado, hoy en día es la norma.

Algo especialmente bonito de la IA es que es *open source*. Es decir, abierta y colaborativa, como lo es el espíritu de la ciencia y la investigación. Esto sigue la estela de proyectos de *citizen science*, como GalaxyZoo, que de hecho ha generado un enorme corpus de entrenamiento gracias a la colaboración desinteresada de miles de personas. De este modo, en lugar de que un pequeño grupo obtenga sus datos y los analice en privado con herramientas creadas *ad hoc*, los algoritmos de IA son públicos y hay millones de contribuyentes al código fuente, que está continuamente mejorando y añadiendo nuevas funcionalidades. Por tanto, cualquier análisis que se haga con IA de código abierto será tremendamente robusto desde el punto de vista computacional. No es de extrañar, por tanto, que tantas disciplinas estén adoptándola en su día a día.

Como hemos mencionado, ramas con un ingente volumen de datos como la astrofísica de altas energías (física de astropartículas), la cosmología y la física de partículas son campos en los que el uso de la IA ya es una herramienta más, y su penetración seguirá imparable en el futuro cercano. Sinergias como pueden ser la detección de materia oscura mediante física de astropartículas hacen de la IA su mejor aliada, pues es capaz de entender rápidamente relaciones entre datos heterogéneos

¹ Como cualquiera que haya cursado Laboratorio de Física sabe, si la teoría no cuadra con los datos, se cambian los datos.

que un ser humano es incapaz de ver inicialmente, sobre todo cuando dos campos tan alejados a priori de pronto se unen.

La IA ha demostrado ser una herramienta poderosa para analizar datos de rayos gamma y distinguir señales reales de fondo de ruido, para lo que se emplea deep learning, basados en redes neuronales. En el fondo, el deep learning es una metodología aplicada ininidad de veces en física: divide un problema muy complicado en muchos problemas muy simples. Estos algoritmos pueden clasificar y separar los eventos de rayos gamma de otras fuentes astrofísicas, permitiendo así la identificación de fuentes distantes y la comprensión de procesos astrofísicos extremadamente energéticos. Estas herramientas ya se han convertido en el pan de cada día de experimentos como CTA, facilitando y llevando a cabo con más precisión tareas necesarias para comenzar cualquier análisis de datos.

La IA también es especialmente hábil detectando *outliers*, es decir, eventos extremadamente raros o anómalos. Esto se ha aplicado hasta la saciedad en datos del LHC, por ejemplo. Aunque se generan millones de colisiones, puede que sólo una de ellas produzca esa esquiva partícula que buscamos (el bosón de Higgs en 2012, sin ir más lejos). Pero es precisamente ese evento el que da lugar a nuevos –y en muchas ocasiones inesperados– descubrimientos. De nuevo, *devil is in the details*.

Un último ejemplo es la fotografía del EHT de M87*, el agujero negro supermasivo que copó todas las portadas en 2019. El algoritmo de IA PRIMO creó una reconstrucción de la imagen usando los mismos datos, pero con una resolución mucho mayor, que ha permitido realizar nuevos análisis gracias a detalles que antes se perdían. De este modo, incluso la física en la frontera del conocimiento puede llegar más allá aplicando estas herramientas.

El futuro es tan brillante que tendremos que llevar gafas de sol

Una de las primeras disciplinas nacidas en la era de la IA es la astronomía multi-mensajero. Es decir, ser capaz de observar diferentes fenómenos (desde explosiones de supernovas hasta fusiones de agujeros negros) ya no sólo en diferentes longitudes de onda de luz (fotones), sino con diferentes mensajeros, como neutrinos, rayos cósmicos u ondas gravitacionales. Como pasar de ver una película muda en blanco y negro al Technicolor con Dolby Surround.

Siendo un campo tan incipiente², la IA forma parte inherente de su ADN. Al tener que trabajar incluyendo eventos de diversos experimentos, cada uno de su padre y de su madre, con diferentes objetivos según el mensajero que estén detectando, resulta imposible combinar de forma tradicional toda la información necesaria. Sin duda, la adopción de forma nativa de la IA en este campo hará que evolucione a velocidad de vértigo, y nos deparará no pocas sorpresas en los próximos años. Teoría y analítica irán de la mano retroalimentándose y desafiándose a dar el siguiente paso. Viendo la progresión de la IA en los últimos cinco años, quién sabe lo que pasará en los siguientes diez.

Pero esto plantea también ciertos dilemas, tanto éticos como filosóficos. ¿Debemos confiar plenamente en estos algoritmos o siempre necesitarán supervisión humana? ¿Será capaz alguna vez una máquina de formular una nueva teoría física, como la gravedad cuántica? Y de ser así, como se sugería en un famoso relato de Isaac Asimov, ¿llegará un punto en el que no seremos capaces de entender dicha teoría, tan sólo aplicarla?

Todas estas preguntas, que pertenecen a la epistemología de la ciencia moderna, abren un apasionante debate. De lo que no hay duda es de que el futuro de la física es colaborativo y abierto. Pero también masivo y complejo. Y ante todo, inevitable y brillante.

² La primera observación conjunta onda gravitacional+fotón fue en 2017 en una fusión de estrella de neutrones, y neutrino+fotón en 2018 con una galaxia activa. No obstante, se puede considerar que la primera observación en astronomía multi-mensajero fue la supernova SN 1987A.