

## REAL ACADEMIA GALEGA DE CIENCIAS

### RESPUESTA DEL ACADÉMICO FÉLIX VIDAL AL DISCURSO DE INGRESO DEL NUEVO ACADÉMICO SENÉN BARRO AMENEIRO

Excmo. Sr. Presidente de la Real Academia Galega de Ciencias, Excelentísimo Sr. Alcalde de Santiago de Compostela, Excelentísimo Sr. Presidente do Consello da Cultura Galega, Reitor Magnífico de la Universidade de Santiago de Compostela, Ilmos. Srs. Académicos, Dignísimas Autoridades, miñas Donas e meus Señores.

Permítanme que as miñas primeiras verbas sexan para darlle a benvinda ao Profesor Senén Barro Ameneiro á Real Academia Galega de Ciencias. A miña convicción de que a incorporación do Profesor Senén Barro a nosa academia será realmente frutífera viuse se cabe incrementada despois de ler primeiro o seu tan interesante Discurso de Ingreso, e agora escoitar un resumo do mesmo. É pois para min unha honra e un pracer poder facer unha breve resposta ao seu Discurso e poder glosar, tamén brevemente, os perfís científico, académico e de xestor universitario do meu estimado e admirado colega da Facultade de Física. Por iso gustariame rematar esta introdución á miña resposta, introdución que para min non é meramente protocolaria, agradecéndolle ao Sr. Presidente da Real Academia Galega de Ciencias, e a todos os meus compañeiros académicos, por encargarme tan honrosa labor.

Una primera aproximación a la personalidad científica y académica del Profesor Senén Barro se puede hacer, como es

tradicional, resumiendo algunos aspectos sobresalientes de su Curriculum Vitae: El profesor Barro Ameneiro nació en As Pontes, en la provincia de A Coruña en 1962, y se licenció en la USC en Ciencias Físicas, en la especialidad de Electrónica, en 1985. Los co-directores de su Tesis de Doctorado fueron los Profesores José Mira y Ramón Ruiz Merino, a los que el Profesor Barro se suele referir como “*sus padres científicos*”. Dicha Tesis concernía la monitorización y el procesamiento de señales fisiológicas, tema de trabajo sobre el que obtendría posteriormente alguno de sus resultados científicos más relevantes, con aplicaciones muy interesantes en la detección de arritmias cardiacas de alto riesgo.

Desde 1995, el Profesor Barro Ameneiro es catedrático en la USC del área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial. Fue director del Departamento de Electrónica y Computación de esa Universidad desde 1993 hasta junio de 2002. Con 39 años, fue elegido *Rector de la Universidad de Santiago de Compostela*, donde ejerció dos mandatos, desde 2002 a 2010. Como Rector impulsó *Campus Vida*, reconocido como *Campus de Excelencia Internacional*, y fue *Vicepresidente de la CRUE (Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas)*. En la CRUE puso en marcha los informes *UNIVERSITIC*, relativos a las tecnologías de la información y las comunicaciones en el sistema universitario español, informes que siguen siendo una referencia internacional. También ha realizado importantes contribuciones en el ámbito de las TIC y de la transferencia de I+D y emprendimiento. Sirva como ejemplo que es, desde 2008, el Presidente de *RedEmprendia*, que comprende numerosas Universidades Iberoamericanas y que tiene entre sus tareas analizar y promover la innovación y el emprendimiento responsables.

En la USC, el Profesor Barro desarrolló una muy fructífera investigación científica sobre variados aspectos de la Computación y la Inteligencia Artificial. Fundó y sigue dirigiendo actualmente el Grupo de Sistemas Inteligentes, que cuenta al día de hoy con alrededor de 40 miembros. Ese grupo realiza una importante actividad de investigación y desarrollo en muy diversos temas, incluidas aplicaciones a la salud, la robótica, la industria o la administración.

El Profesor Senén Barro siempre ha estado activamente interesado en diversos aspectos de la interacción entre las Universidades españolas y su entorno socio-económico. En 2013, publicó el libro *"+Universidad-Especulación"*, en el que, entre otras muchas cosas, enfatiza la importancia de potenciar el emprendimiento. Este libro me ha incitado a releer el ya clásico informe de gran matemático y humanista francés Laurenz Schwartz sobre las instituciones universitarias francesas, informe solicitado por el entonces Presidente de la República Francesa François Mitterrand, y que se publicaría posteriormente con el título *"Pour sauver l'Université"*. En mi opinión, algunos de los análisis y recomendaciones que se hacen en este último informe, escrito a principios de los años 80 del siglo pasado, se aplican con mucha vigencia a importantes aspectos de las actuales instituciones universitarias españolas, en particular a su gobernanza. A todos los interesados por estas temáticas, tan relevantes y de tan persistente actualidad, me atrevo a recomendar la lectura de ambos libros, que a mi entender tienen algunos aspectos complementarios.

Terminado este, créanme que escueto, resumen del muy nutrido Currículo profesional del Profesor Senén Barro, quisiera glosar, aunque sea brevemente, algunos aspectos

más concretos de sus investigaciones científicas. Un tema de trabajo que creo particularmente relevante y fructífero del Profesor Barro Ameneiro concierne los denominados "*Conjuntos y Sistemas Difusos (o borrosos)*" y sus muy diversas aplicaciones. En relación con esta línea de investigación pienso que merece ser singularizada ya aquí la estancia que realizó en 1997, siendo ya un reconocido investigador científico, en la Universidad de California, en Berkeley, con el Profesor Lotfi Zadeh, "*padre*" de los "*conjuntos borrosos y de la lógica difusa*".

Las publicaciones científicas del Profesor Barro sobre "*conjuntos borrosos y sus aplicaciones*", son las que han tenido hasta ahora un mayor número de citas. Pero mucho más que este indicativo numerológico, lo que realmente motiva que me centre en esas actividades es, en primer lugar, la importancia que a mí entender tienen los sistemas mal o incompletamente definidos. Se trata de una situación frecuente en los sistemas complejos, el cerebro humano siendo un ejemplo que seguro complacerá al Profesor Barro. Y en segundo lugar, tengo también unas motivaciones, debo reconocerlo aquí, más subjetivas: Si bien conceptualmente muy diferentes, los "*conjuntos difusos o borrosos*" evocan la *incertidumbre cuántica*, un aspecto crucial de algunas de mis propias investigaciones en superconductores. De hecho, las posibles interrelaciones entre *lógica y conjuntos borrosos* e *incertidumbre cuántica* ya habían sido evocadas hace muchos años por filósofos y matemáticos como Bertrand Russell o Max Black.

Para enfatizar la importancia científica, ¡y más allá!, de esas temáticas permítanme que recuerde una frase de Friedrich Nietzsche: "*Una sociedad es tanto más fuerte cuanto más*

*incertidumbre es capaz de asumir*". Esta tan potente y luminosa frase, escrita a finales del siglo diecinueve, tiene un profundo y revolucionario contenido conceptual. Nietzsche se refería al conocimiento del punto de vista filosófico, pero ya señalaba implicaciones en campos tan diversos y con tantas aplicaciones como la sociología y la política, implicaciones que siguen estando de plena actualidad, diría de rabiosa actualidad, en particular en nuestro país.

Aplicada al conocimiento científico, esa frase de Nietzsche, podría formularse como *"la Ciencia explicará mejor la realidad y será tanto más útil cuanto más incertidumbre sea capaz de asumir"*. En el caso de la Física, se trata de un aserto realmente premonitorio y revolucionario. Nietzsche fue coetáneo de la profunda ruptura conceptual que supuso la introducción a finales del siglo diecinueve de la probabilidad y la estadística en la Termodinámica, especialmente por Living Boltzmann en Austria y Alemania y también por Josiah Willard Gibbs en los Estados Unidos.

Pero esas teorías, si bien probabilistas, eran todavía deterministas, y la asunción por la Física de la *"incertidumbre intrínseca"*, que probablemente impregnaba el pensamiento de Nietzsche, llegaría solamente a partir de 1900, año de su fallecimiento. Ese mismo año, el gran físico alemán Max Planck publicó su célebre estudio sobre la cuantificación de la energía de la radiación electromagnética, que fue el punto de partida de la Mecánica Cuántica. Como demostraría 25 años más tarde Werner Heisenberg, proponiendo, ¡a la edad de 24 años!, sus célebres *"Relaciones de incertidumbre"*, la Física Cuántica es una descripción *intrínsecamente indeterminista* de la realidad.

Naturalmente, hay diferencias fundamentales entre la “*incertidumbre cuántica*” y el *conocimiento e información difusos*. En primer lugar, la incertidumbre cuántica no afecta solamente la definición y caracterización de un sistema per-se (las famosas *reglas de indeterminación de Heisenberg* entre variables conjugadas), sino que esas reglas están defendidas por la denominada “*energía de localización de Heisenberg*”. Ello conlleva a que la incertidumbre cuántica no solo sea intrínseca, sino que es *inviolable*. Las consecuencias de ello son dramáticas. Por ejemplo, en las descripciones clásicas los átomos deberían colapsar debido a la tremenda atracción electromagnética entre los electrones y los núcleos atómicos. Sin embargo, ese colapso violaría la incertidumbre cuántica, por lo que es impedido por la energía de localización de Heisenberg, que compensa la atracción electromagnética. Podemos pues decir que “*el universo es como es gracias a la incertidumbre*”

A un profano de la inteligencia artificial, como es mi caso, las reflexiones anteriores, hechas a vuelapluma, sugieren no pocas preguntas. Por ejemplo, lo que me atrevo a denominar “*borrosidad*” de los sistemas descritos con conjuntos difusos, ¿puede ser también intrínseca en algunos casos y/o sistemas? ¿Qué analogías podría haber entre el *Principio de Indeterminación* de Heisenberg y el denominado “*Principio de incompatibilidad*” de Zadeh, este último comentado por el profesor Barro en la versión escrita de su Discurso de Ingreso? ¿Podrían existir también “*borrosidades inviolables*”? ¿Qué “*interacciones o efectos colectivos*” se pondrían en juego para ello?

Quisiera hacer ahora unos breves comentarios sobre el propio Discurso de Ingreso en esta Real Academia del

Profesor Senén Barro Ameneiro. En primer lugar, pienso que debemos agradecerle tanto la elección del tema de su discurso, de apasionante actualidad, como su esfuerzo pedagógico. Además de la valiosa información que aporta sobre la denominada *“inteligencia artificial”* y su *“estado del arte”*, ha sido un verdadero placer para mí leer la versión escrita de su discurso y ahora escucharle un resumen de la misma.

Como indica el Profesor Barro, el título de su discurso, *“¿Pueden pensar las máquinas?”*, pretende ser un homenaje a Alan Turing, que en el año 1950 publicó con ese mismo título uno de los trabajos más influyentes sobre los aspectos básicos de la *inteligencia artificial*. Ese título sugiere ya de entrada que en él se habla mucho de futuro, pero la interrogación indica que se hace con la obligada prudencia. A la vista de los tremendos progresos alcanzados en estos últimos cincuenta años por los ordenadores, los que hemos utilizado la regla de cálculo y las tablas de logaritmos durante nuestra licenciatura estamos dispuestos, estimado Senén, a creernos cualquier extrapolación y cualquier promesa sobre las futuras maravillas de la inteligencia artificial. Pero es bien conocida la frase que se atribuye a Niels Bohr, el gran físico danés del primer tercio del siglo pasado: *“Es muy difícil hacer predicciones, sobre todo del futuro”*. Y en efecto, en el discurso del Profesor Barro Ameneiro esas dificultades predictivas son prudentemente recordadas al abordar los aspectos más especulativos. En este sentido, y como tributo a la actualidad, permítanme un breve comentario sobre unas recientes declaraciones del popular astrofísico y gran divulgador Stephen Hawking (por cierto, citado por otras razones por el Profesor Barro en su discurso escrito). En sus declaraciones, Hawking predice que antes de cien años (¡nada menos que

cien años!) habrá ordenadores más inteligentes y creativos que los seres humanos. Pienso que a este tipo de asertos se le podría aplicar lo que el Profesor Barro denomina en su Discurso de Ingreso *“divulficción científica”*. En cualquier caso, creo que tendremos que tomar con humor esa predicción a tan largo plazo: ¡En realidad ya hay personas en puestos importantes en nuestras sociedades que en ocasiones parecen ser menos inteligentes que sus propios ordenadores personales!

*¿Pueden pensar las máquinas?* El discurso del profesor Senen Barro además de ilustrarnos, como ya he dicho, con mucha y muy interesante información sobre *el estado del arte de la inteligencia artificial y sobre aspectos de su futuro inmediato* también sugiere, como debe ser, muchas y variadas preguntas y reflexiones. Por ejemplo, si ya es difícil hacer predicciones, tanto positivas como negativas, todavía será más difícil predecir que caminos seguir para alcanzar tales predicciones. *¿A partir de qué situaciones podrían evolucionar por ellos mismos los procesadores?* Estos planteamientos futuristas y los aspectos que podríamos denominar *“evolutivos”* de la inteligencia artificial me evocan el célebre libro del gran biólogo francés Jacques Monod *“Le hasard y la nécessité”*, publicado en 1970. También me evocan, incluso más directamente, el influyente artículo del físico norteamericano Phil Anderson titulado *“More is different”*, publicado en la revista Science en 1972. En este último artículo se planteaba *la emergencia de los fenómenos colectivos y la complejidad* en la materia condensada, enfatizando que su descripción requiere la *implementación de nuevas leyes fundamentales* (y relanzando de paso una áspera e inacabable discusión sobre el reduccionismo de la



Ciencia...). De hecho, al día de hoy ni tan siquiera se sabe estimar cuantos átomos, y con qué características individuales, se necesitan para que emerjan muchas de las propiedades colectivas de un material macroscópico: A partir del conocimiento exhaustivo de los átomos de plomo no sabemos predecir la superconductividad de un trozo de plomo...

Imagino pues, querido Senén, las dificultades que puede haber para estimar *cuantas "neuronas"*, artificiales o naturales, *con qué características cada neurona*, y *que tipo de relación entre ellas*, se necesitan para la emergencia de la conciencia de uno mismo. Las dos primeras preguntas, *¿Cuántas neuronas y con qué características?*, concierne lo que podríamos denominar el *"hardware"*, mientras que la tercera pregunta, *¿qué tipo de relaciones entre ellas?*, estaría más relacionada con el *"software"*. En su Discurso, el Profesor Senén Barro parece decantarse, quizás influido por su especialidad, por la segunda posibilidad, es decir que serán sobre todo los avances en el *software*, a través de lo que él denomina *"el aprendizaje de la máquinas"*, los que podrán llevar al pensamiento autónomo de los ordenadores. Del punto de vista de estudioso de transiciones de fase y fenómenos críticos en la materia condensada, *la emergencia de la inteligencia creativa y de la conciencia de uno mismo* podría ser, cualquiera que sea los caminos *"evolutivos"* para llegar a ella (incluida la posibilidad de utilizar los prometedores *"procesadores cuánticos"*), un fenómeno que se podría clasificar como un, ¡extraordinario eso sí!, *"efecto colectivo neuronal"*. Esta *"clasificación"*, que se aplicaría tanto a la inteligencia *artificial* como a la *natural*, va más allá de una

mera denominación, pero su alcance habría que analizarlo en otra ocasión.

Ya estoy terminando, pero no querría hacerlo sin indicar brevemente que además de las reflexiones generalistas anteriores, el discurso del Profesor Senén Barro me sugiere otras reflexiones más concretas, pero también cercanas a mis propios temas de investigación. Para no prolongar todavía más mi intervención, me centraré brevemente en un ejemplo que, ¡naturalmente!, concierne el “*hardware*”: Almacenar, borrar y manipular información en un ordenador genera *disipación térmica* (¡y mucha!). De hecho, la menor disipación posible en los procesadores no-cuánticos (prácticamente todos los comercializados hasta ahora) está determinada por el denominado “*límite de Landauer*”: La *mínima disipación por bit* (disipación inevitable, ¡impuesta por el Segundo Principio de la Termodinámica!) es el producto de la constante de Boltzmann por la temperatura del procesador y por el logaritmo neperiano de dos. Por bit esta disipación es pequeñísima, al serlo la constante de Boltzmann, pero para estimar la disipación térmica en el conjunto del procesador hay que multiplicarla por los colosales números de los que venimos oyendo hablar profusamente en nuestra Academia este último año. Además, en los actuales ordenadores se disipa mucho más por bit que el *límite de Landauer*. Pero es sobre todo en las interconexiones eléctricas donde se genera más calor, convirtiendo esta disipación irreversible y su eliminación por refrigeración en uno de los problemas cruciales para la optimización de procesadores. Por ello, el cableado con superconductores, que transportan la electricidad sin disipación, constituye una predicción de futuro que seguro que no molestaría al mismísimo Niels Bohr.

De hecho es un aspecto sobre el que se especula desde hace ya numerosos años (especulación relanzada por el descubrimiento de los denominados *superconductores a “altas” temperaturas*).

Otra prometedora aplicación, de carácter más fundamental, de los superconductores a los *ordenadores y a la inteligencia artificial* es su utilización en los “*procesadores cuánticos*”, en particular a través de los denominados SQUIDS (“*Superconductor Quantum Interference Devices*”), dispositivos que ya utilizamos desde hace numerosos años en nuestro laboratorio de la USC para medir con ultra-alta resolución propiedades magnéticas. Espero tener la ocasión de comentar sobre estas variadas posibilidades en el seno de nuestra Academia, en particular con el Profesor Barro y también con los nuevos académicos reputados expertos en informática y en inteligencia artificial.

Termino xa decindo que por razóns protocolarias debe ser o Sr. Presidente da nosa Real Academia quen che de a benvida, querido Senén, en nome de todos os académicos. Eu limitareime pois a desexar che unha longa e frutífera vida académica, e a reiterar che que foi para min unha gran honra e un pracer poder responder ao teu moi ilustrativo e moi interesante Discurso de Ingreso na Real Academia Galega de Ciencias.

Moitas grazas a todos, miñas Donas e meus Señores, pola vosa atención.