

Computación y Cerebro: Se hace camino al andar

Lección Inaugural Curso Académico 2018-2019

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Prof. Dra. Carmen Paz Suárez Araujo

*Catedrática en Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial de la
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*

Sr. Presidente del Gobierno de Canarias,

Sr. Rector Magfco. de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria,

Sr. Rector Magfco. de la ULL,

Distinguidas autoridades,

Estimadas compañeras y compañeros

Estimados estudiantes

Sras. y Sres.

La Lección Inaugural de un Curso Académico, además de ser un acto solemne, es, lo entiendo yo, un icono del alma universitaria, la representación del magisterio. Magisterio que ejercemos día a día todos los profesores intentando transmitir saber y conocimiento. Conocimiento generado a través de la también ardua labor investigadora que en paralelo realizamos. Quiero agradecer al Sr. Rector y a su equipo, el que hayan pensado en mí para este loable y a la vez difícil ejercicio de magisterio, ante una clase altamente cualificada, formada por un crisol de saberes, muestra clara de una institución académica interdisciplinar, dinámica y moderna; **nuestra Universidad**, que en este curso que hoy comienza, está de celebración, pues cumple sus 30 años de buen hacer.

Será por tanto ésta, una lección que, espero, lleve ese sabor de interdisciplinariedad, dinamismo y modernidad y penetre de forma amable en tan amplio y diverso abanico de saberes.

Seremos ambiciosos y comenzaremos el curso hablando de temas que han constituido y constituyen importantes retos científico-tecnológicos, intentando situarnos en la punta de lanza de la investigación en computación.

Disciplina ésta, catalogada de empírica, ya que, como la astronomía, la economía o la geología, algunas de sus formas singulares de observación y experiencia no encajan en el estrecho estereotipo del método científico experimental. Sin embargo, ellas son experimentos y, como a Newell y Simon, también nos gustaría catalogarla de **ciencia** experimental ya que cada nueva máquina que se construye, es un experimento (científico). Realmente construir una máquina, un programa, plantea una cuestión a la naturaleza; y para alcanzar una respuesta observamos y analizamos como operan, dándonos, su comportamiento, pistas para dicha respuesta. Como pistas nos da la naturaleza, para la construcción de las mejores máquinas. El máximo exponente para ello, pensamos que es el Cerebro.

El *Cerebro* es el órgano más complejo, espléndido y admirable de la naturaleza, así como el más enigmático. Es el resultado de una optimización evolutiva de las propiedades elementales de las neuronas. En él descansa, podríamos decir, nuestra capacidad de *Ser*, el pensamiento, el comportamiento y el sentir del hombre.

El conocimiento de la estructura y función del cerebro, así como de su estilo de computación, es uno de los mayores desafíos de la ciencia en todos los tiempos. Su comprensión permitiría conocernos a nosotros mismos, así como poder entender y por tanto abordar, muchas patologías cerebrales, muy especialmente las neurodegenerativas, como la Enfermedad de Alzheimer. Este conocimiento es, en gran medida, posibilitado por la *Computación* que, en sus muchas formas, es el motor que alimenta nuestra civilización moderna y la cual, en ciertos recodos del camino, usa el conocimiento del cerebro como fuente de inspiración para construirse a sí misma. El obtener una computación potente, efectiva y a su vez, inteligente, ha sido otra de las grandes apuestas científico-tecnológicas que el hombre ha hecho a lo largo de la historia.

Constataremos hoy, que la relación realimentada, Cerebro-Computación-Cerebro, es una constante en el trayecto hacia el conocimiento

y desarrollo de ambos desafíos, mostrándose la total realidad del famoso verso de Machado, *"Caminante no hay camino, se hace camino al andar"*. Y consiguen hacer "camino" porque, en su dialogo interdisciplinar, parafraseando al controvertido poeta americano, Ezra Pound (1885 EE.UU.-1972 Italia), se dicen entre sí: *"...No es necesario que usted comprenda todo lo que digo. Lo importante es que le obligue a pensar..."* (Algo como lo que le decimos casi a diario a nuestros alumnos).

y esto constituye un acto de estimulación para que los investigadores, usando ambos campos, sigan avanzando en el conocimiento de ambos retos.

¿Cómo trabaja el cerebro?, cuestión que ha fascinado a la humanidad, muy simple de plantear, y muy difícil de responder. Su esclarecimiento ha sufrido vaivenes históricos y ha sido abordado desde diversos niveles y perspectivas y desde diferentes disciplinas, las "ciencias del cerebro", hasta la emergencia de un cuerpo de doctrina enfocado a ello, *"la Neurociencia"*.

En los albores del estudio del cerebro, siglos V y IV AC, encontramos a los griegos, demostrando gran intuición, ya que manejan una idea del cerebro que, podríamos decir, encaja con la que se contempla en la ciencia actual. Esto se desprende del texto del Corpus Hippocraticum sobre la epilepsia, en la "Enfermedad Sagrada":

"Los hombres deben saber que las alegrías, gozos y diversiones, las penas, abatimientos y lamentaciones proceden del cerebro y de ningún otro sitio. Y así, de una forma especial, adquirimos sabiduría y conocimiento, y vemos y oímos y sabemos lo que es absurdo y lo que está bien, lo que es malo y lo que es bueno, lo que es dulce y lo que es repugnante... Y por el mismo órgano nos volvemos locos y miedos y terrores nos asaltan... Sufrimos todas estas cosas por el cerebro cuando no está sano... Soy de la opinión que de estas maneras el cerebro ejerce el mayor poder sobre el hombre."

Este enfoque es desbancado por la corriente Aristotélica, que defiende la idea de que el centro del intelecto está en el corazón, el corazón como centro de la vida, como residencia del espíritu. Este constructo fue muy

poderoso durante siglos, siendo las ideas culturales en este aspecto, muy persistentes. Así, nosotros aún usamos expresiones que reflejan ese concepto, como: "...con el corazón en la mano...", "tengo el corazón en un puño".

En el S. XVII con Descartes, surge la teoría mecanicista, línea de pensamiento extraordinariamente influyente hasta hoy, donde mente-alma y cuerpo se separan. Será el científico Thomas Willis (1621-1675), para el que pensamientos y emociones eran tormentas de átomos, quien inaugure la era "neurocéntrica" en la que nos encontramos hoy. Cerebro y mente son conceptos inseparables, se acuña la palabra "neurología" y comienza la "era del cerebro". Abre el camino teórico que llevaría al descubrimiento de los neurotransmisores, es el primero en abordar las enfermedades mentales desde una perspectiva farmacológica. Así, para la melancolía, actual depresión, que se trataba con la astrología, Willis recomienda un jarabe de acero con ciempiés triturado y charla agradable. No da resultado, pero los fundamentos eran correctos. También defiende la "teoría de los espíritus animales". Y es, en relación con ella, donde encontramos otra idea pionera de Willis, que trasciende a la genética: según él, hay algo que se transmite para crear a otra persona y de sus observaciones postuló que había algún espíritu que iba desde el cerebro, que es donde único hay información, a los testículos. Esto es lo que actualmente llamamos información genética.

Pero es entre los siglos XIX y XX, donde hay una ebullición de conocimientos de alto valor sobre el cerebro, culminando con la doctrina neuronal de Cajal (1852-1934), el conectivismo y el procesamiento distribuido de Wernicke (1848-1904), siendo, estos, de los conceptos más fecundos en la moderna Neurociencia, así como en la computación neuronal.

La doctrina Cajal, determinaba la neurona como elemento básico del Sistema Nervioso Central. Constituidas en red, las neuronas transmiten sus impulsos nerviosos entre ellas, a través de contactos especializados, la sinapsis y es esa comunicación neuronal una de las claves de la actividad cerebral, desde el nivel celular hasta la propia cognición. Seguir avanzando en

este ámbito de importancia superior, sin la genialidad de Cajal, no es tarea sencilla. Veremos, como la computación se presenta como herramienta fundamental para ello.

Observamos, pues, que el conocimiento del cerebro, ha ido surgiendo de la conjugación de diversas tradiciones científicas como la Anatomía, la Bioquímica, la Psicología, la Neurología, la Neurofisiología... Pero, en los últimos tiempos, para poder seguir progresando en él, se hace necesario la incorporación de otros dominios, como las matemáticas, la física o la computación. Esto ha provocado la emergencia de una nueva disciplina científica, con gran potencialidad y personalidad propia, la Neurociencia Computacional. Se presenta como una metáfora recíproca que, a través de metodologías híbridas natural-artificial, ayuda a entender el estilo de computación del cerebro y a obtener sistemas computacionales con capacidades cercanas al mismo. El albor de este dominio interdisciplinar está del lado de la computación, concretamente, en 1943, cuando Warren McCulloch (psiquiatra y neurofisiólogo) y Walter Pitts (matemático) representan la actividad nerviosa con lógica de proposiciones y formalizan la primera neurona artificial, la neurona formal, buscando sistemas de computación con habilidades propias del cerebro. Esto, será, no solo una constante en la vida de McCulloch, como lo refleja la acusación que le hace su colega Sam Wortis *"de estar siempre intentando escribir una ecuación para el cerebro"*, sino de todos los que buscamos la computación del futuro.

Este hito marca el inicio de una nueva visión de la computación, las redes neuronales artificiales y apunta caminos entrelazados para la computación y el cerebro, que, aunque en lados distintos, siempre mantienen un dialogo inspirador entre ellos. Así lo muestran muchas de las ideas y T^{as} más pioneras de la computación, como la idea de Turing de que los dispositivos computacionales podrían emular la inteligencia; o las teorías de Von Neumann sobre si el cerebro puede ser o no pensado como una máquina

de computación, reflejado, en su manuscrito inacabado, "El Computador y El Cerebro".

Es, pues en la fusión de la Computación y las Neurociencias, donde vamos a encontrar toda la inspiración y las herramientas que nos permitirán avanzar, de forma sólida, en la comprensión de esta maquinaria biológica que es el cerebro y en el edificio de la computación, con estructuras y capacidades próximas al mismo, alcanzando la tecnología del futuro.

Y es ahí donde, créanme, se están haciendo y se deben hacer, todos los esfuerzos en el campo de la computación. Siendo este camino el que definirá, a *los líderes en tecnología e innovación*. Por eso, desde este atril, modestamente me permito sugerir, a quienes corresponda, una apuesta firme y decidida por posicionarnos donde están los mayores retos científico-tecnológicos actuales, reconociendo a esta área como prioritaria en los programas de I+D+i y en los programas académicos. Esto propiciará el que se sitúe a nuestra universidad y a nuestra región, en el camino hacia el liderazgo tecnológico.

Una de las herramientas esenciales para alcanzar estos desafíos científico-tecnológicos son los modelos, los modelos de cerebro simplificados y los realistas. Los simplificados son esencialmente conceptuales y los realistas incorporan tantos detalles neuronales como haya disponible. Así, de los modelos simplificados, surge la computación neuronal, uno de los enfoques computacionales más potentes y que, al amparo del crecimiento tecnológico, presenta los mejores sustratos para construir la computación del futuro. Su elemento básico de procesamiento de información es la red neuronal artificial (RNA). Inspiradas en la red neuronal biológica, están constituidas por un gran número de neuronas altamente interconectadas con procesamiento paralelo y distribuido, y con capacidad de aprendizaje.

Un ejemplo representativo, es la red neuronal ontogénica desarrollada en nuestro grupo de investigación, a la que hemos denominado **HUMANN** (Hyrarchical unsupervised modular adaptative neural network). Tiene

capacidad para abordar problemas complejos en entornos reales, como el diagnóstico de enfermedades asociadas al envejecimiento, el control medioambiental o la identificación de neuronas cerebrales, ya que es una RNA cercana a la red biológica pues incorpora mecanismos neuronales biológicos, como las sinapsis silenciosas, la muerte neuronal (apoptosis) y la neurogénesis. Esta última, principalmente focalizada en el HVC (High Vocal Center), núcleo necesario para la producción del canto aprendido de los pájaros cantores, especialmente el pájaro canario.

Los modelos simplificados también son de gran valor para testear o validar hipótesis en cerebro, que no pueden ser completamente exploradas por métodos experimentales tradicionales, como ocurre en la comunicación neuronal. ¡Ya los hubiera querido tener Cajal! para ayudarlo a determinar y no solo intuir, “el sentido de propagación de los impulsos nerviosos”, que magistralmente reflejó con flechas, en sus dibujos de la arquitectura neuronal. Estos han sido objeto, este año, de una inusual exposición en la Galería de Arte de la Univ. de Nueva York, denominada “*El Cerebro Maravilloso: Los Dibujos de Santiago Ramón y Cajal*”. Nuestro grupo sí que los ha podido usar para superar la imposibilidad de medición directa de un mecanismo subyacente de la “*transmisión volumétrica*”, la difusión del óxido nítrico (NO), como molécula de señalización neuronal y su implicación en procesos de aprendizaje y memoria. Así, hemos desarrollado el *Modelo de Difusión del Óxido Nítrico basado en Sistemas Multicompartimentales* y el *Modelo de Redes de Autómatas ANDINO*. También, con ellos, hemos mejorado la computación neuronal, diseñando nuevas RNAs que incorporan la transmisión volumétrica, como la red neuronal asociativa y la memoria distribuida escasa por difusión.

¡Qué paradoja!, una sustancia tóxica, siendo transmisor de información y también vasodilatador coronario. Este mismo asombro, lo reflejaba el propio Alfred Nobel (1833-1896), en una de sus cartas: “...es una ironía del destino

que me prescriban tomar nitroglicerina, la llaman Trinitina para no asustar a los farmacéuticos ni al público...".

Observamos, pues, como el estudio experimental de la arquitectura y función del cerebro, es un problema, no solo por razones prácticas o éticas, sino por complejidad dinámica. También, que el desarrollo de modelos computacionales de redes neuronales de gran escala no es tarea sencilla, por las limitaciones de la tecnología existente. Y que es el uso de los modelos, los realistas y los simplificados, junto a tecnologías emergentes, como la cuántica, la nano o la orgánica, lo que permitirá construir las nuevas infraestructuras computacionales que nos lleven hacia la computación del futuro.

En el Instituto Max Planck de Munich, usando tecnología orgánica, han desarrollado un microchip, el Nachip, cultivando neuronas de cerebro de rata en un chip de silicio y utilizando proteínas especiales encontradas en cerebro, como pegamento de las neuronas al chip. Esto permite que las "neuronas y el silicio hablen", pudiendo entrar en el dialogo neuronal de una red de neuronas biológica. Proporciona interesantes y cinematográficas aplicaciones, que recuerdan a películas como *Ex machina* (2015) o *Johnny Mnemonic* (1995), como la experimentación de nuevos fármacos para el sistema nervioso, la creación de prótesis neuronales para sustituir a neuronas que han dejado de comunicarse, la construcción de computadores orgánicos, que usarían neuronas vivas como procesador central (CPU), llevándonos directamente a la computación del futuro. De todo esto, lejos aún se está.

Otro enfoque alternativo, que actualmente puja con fuerza, es la "ingeniería neuromórfica". Surge en los años 80, pero es hoy cuando comienza a ser una realidad, por los avances tecnológicos y neurocientíficos acaecidos.

La computación neuromórfica busca desarrollar una arquitectura digital-analógica en hardware que emule el comportamiento del cerebro, desde "la neurona" hasta procesamientos de orden superior, como el pensamiento, la inteligencia o la memoria. Su gran desafío es la computación

en diversas escalas espacio-temporales y la eficiencia energética. La del cerebro, que es la más potente conocida, está inspirando arquitecturas y algoritmos radicalmente diferentes, que transformarán la computación.

En este desarrollo frenético se encuentran, desde empresas tecnológicas punteras, como IBM y su TrueNorth, que procesa 46 billones de operaciones sinápticas por segundo, Google y su sistema neuromorfo de aprendizaje profundo, base de su buscador o del google map, agencias gubernamentales, como el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) (EEUU), con una sinapsis artificial basada en nanotecnología, de menores necesidades energéticas que la sinapsis humana, hasta Universidades, con proyectos de investigación punteros. Destacan la de Stanford (EEUU), con el sistema neuromorfo Neurogrid, que simula redes neuronales de hasta un millón de neuronas y billones de conexiones sinápticas; la de Manchester o Dresden, con plataformas computacionales como el SpiNNaker y el BrainScaleS, que realizan simulaciones a gran escala, de sistemas neuronales biológicos, mejorando la toma de decisiones en aplicaciones innovadoras como las ciudades inteligentes, automóviles sin conductor o diagnóstico médico complejo. Ellas son parte del exponente más claro en este ámbito, el Proyecto del Cerebro Humano (Human Brain Project, HBP), con 124 universidades involucradas. El cual sitúa a la academia y la industria en una nueva ruta para el entendimiento del cerebro humano, haciendo ingeniería inversa y para la generación de tecnologías inteligentes. Unifica conocimiento biológico masivo sobre el cerebro, teniendo como objetivo la construcción de un "cerebro humano artificial", que actuará de laboratorio virtual, permitiendo exportar, principios fundamentales de computación neuronal en tejido biológico, para su implementación en tecnología neuromórfica.

La última propuesta desafiante, explora una idea que ha estado rondando el mundo de la computación hace décadas, el *uso de un medio líquido como soporte para la computación*. En el Instituto Nacional de

Estándares y Tecnología (NIST), han demostrado hace solo unos meses, cómo la computación de operaciones lógicas se podría realizar en un medio líquido. Muestran que una fina película especial de grafeno, inmersa en líquido, puede actuar como un semiconductor sólido de silicio. Esta película puede ser activada y desactivada ajustando niveles de voltaje, como los inducidos por la concentración de sales en el sistema biológico y sus componentes softs podrían ajustarse a formas personalizadas, en el cuerpo humano.

Vemos, pues, que estamos en el camino, en el avance hacia la computación del futuro, pero seguimos sin tener, no solo la tecnología sino las herramientas formales que soporten fenómenos tan complejos.

Pensamos, que una forma de que este camino llegue a meta, pasaría por integrar en los sistemas computacionales el "aprendizaje general". El que se lograría incorporando la capacidad de interacción inversa con el medio, con los descubrimientos y los conceptos aprendidos y acumulados a corto y a largo plazo y la incertidumbre. Esto si generaría una "computación con habilidades propias del cerebro", y más cercano a lo que Stuart Russell llama "IA general", ya que tendría esa capacidad que en gran medida caracteriza a la inteligencia humana, "la de adaptación". Por tanto, seguimos, "intentando escribir una ecuación para el cerebro", estando definida nuestra posición, por las palabras con que **Alan Turing** concluyó su famoso artículo "Maquinaria Computacional e Inteligencia": *"Solo podemos ver a una distancia corta hacia delante, pero podemos ver que allí hay mucho por hacer"*.

Muchas de esas cosas que Turing vio en 1950, que necesitaban ser hechas, lo han sido, pero la agenda está tan llena como entonces, la cuestión crítica siempre es: ¿Qué hacer ahora? Y para ayudar a dar respuesta a esta pregunta, en todos los ámbitos del saber, está la Universidad, quien, constantemente, a través de la academia la excelencia y sus alumnos, genera nuevo conocimiento y nuevos jóvenes talentos que seguirán vaciando la agenda y llenándola con nuevas preguntas y nuevas cosas para hacer.

Y es, a seguir manteniendo este ciclo fascinante, desafiante y vital, a lo que les invito en este nuevo curso, con la parábola/cantar de Machado:

*“De la mar al precepto,
del precepto al concepto,
del concepto a la idea
–¡oh la linda tarea!–,
de la idea a la mar.
¡Y otra vez a empezar!”*,

Buen Comienzo y Muchas Gracias!