

JOSÉ RAMÓN DORRONSORO: UN CAMINANTE REFLEXIVO

Alberto Suárez González

Departamento de Ingeniería Informática, Escuela Politécnica Superior. UAM

*“Caminante, son tus huellas
el camino y nada más”*

Antonio Machado

1. HUELLAS

El monte Ulía emergió al este de San Sebastián desde el fondo marino hace aproximadamente cincuenta millones de años por la colisión y posterior soldadura de las placas continentales ibérica y europea en el curso del proceso que llegaría a conformar la cadena montañosa de los Pirineos. Las rocas areniscas, karstificadas en su superficie, erosionadas en su interior por viento, lluvia y oleaje constituyen un entorno ideal para el esparcimiento de un caminante pausado, cauto, minucioso, pero a la vez curioso, inquisitivo, voraz de conocimiento. Así imagino al joven José Ramón Dorronsoro, explorando su pensamiento las ciencias (las matemáticas, por las que finalmente se decantaría; pero también la física, la química, la biología o la geología) con tanto cuidado y pasión como sus sentidos emplean en examinar las cuevas, cavidades y geoformas que puntúan el recorrido por los escarpados acantilados frente al Cantábrico.



José Ramón Dorronsoro Ibero

Volvamos a la ciudad. Atravesemos la playa de Zurriola, el paseo nuevo, el puerto, la Concha. Dejemos atrás el peine del viento y el monte Igueldo. Continuemos a lo largo de la línea costera (un abrupto fractal de dimensión algo mayor que uno, sin llegar a la condición bidimensional de superficie). Franqueemos la frontera con Vizcaya. Vadeemos el estuario de Urdaibai. Siempre hacia el este, hasta el gran Bilbao, donde se define y precipita la vocación por lo exacto: desde la pureza inalcanzable (o realizable solo en el límite) de las construcciones bourbakianas¹, hasta la armonía cuasi perfecta (si no fuera por la perturbadora y disonante impertinencia del caos determinista) de la mecánica celeste, la elección ha sido tomada: a favor de la más artificial de entre las ciencias; y sin

¹ Nicolas Bourbaki es el nombre adoptado por un colectivo de matemáticos de la escuela francesa, quienes a partir de 1935, iniciaron la publicación una serie inacabada de tratados agrupados bajo el título: “Éléments de mathématique” (con esa inusual referencia, no azarosa, a la Matemática en singular), cuyo objetivo era realizar una presentación unificada de las matemáticas desde un punto de vista formal, basado en el concepto de estructura. Es quizás la obra que mayor influencia ha tenido en la forma actual de dicha ciencia.

embargo, la que (¡oh, grande misterio!) a todas ellas subyace como herramienta, congruencia, forma o lenguaje².

Desde Bilbao, siguiendo el cordón umbilical de Altube, Pancorbo, Somosierra, que atraviesa de norte a sur montes y mesetas, conectando física, social y culturalmente el País Vasco con la vieja y la nueva Castilla, llegamos a la villa de Madrid. En su Universidad, la Complutense, descubre con asombro el legado de la escuela matemática iniciada por el jesuita olotense Alberto Dou i Mas de Xexás. Allí entra en contacto con el catedrático Miguel de Guzmán, de cuya mano es introducido en “los goces estéticos del quehacer matemático”³. Por su mediación José Ramón Dorronsoro se alejaría aún más de su Guipúzcoa natal para descubrir nuevos horizontes en las pujantes universidades del medio oeste estadounidense.

Gracias al puente establecido por Guzmán entre la escuela de análisis matemático de Chicago y Madrid, atraviesa el océano (como, también alentados por Miguel de Guzmán, lo hicieran muchos otros de sus futuros compañeros en el departamento de matemáticas de la Universidad Autónoma de Madrid: Antonio Córdoba, José Luis Fernández, Eugenio Hernández, Roberto Moriyón, Fernando Soria, etc.) con destino a San Luis, en la margen derecha del Misisipi, con el objetivo de realizar una tesis doctoral sobre análisis armónico en *Washington University*, su otra *alma mater*. El análisis armónico, reformulado de manera abstracta por el argentino Alberto Calderón y su mentor Antoni Zygmund a mediados del siglo pasado, es una generalización del análisis funcional iniciado por Joseph Fourier, cuyo objetivo es caracterizar cierto tipo de funciones a través de su descomposición en componentes armónicas. Estas componentes son análogas al arco iris (espectro) revelado en la dispersión diferenciada de los colores que integran la luz blanca cuando esta atraviesa un vaso de agua, como observó Descartes, o un prisma transparente, en el experimento realizado por Newton.



José Ramón Dorronsoro (atrás a la izquierda), Alberto Calderón (a su lado) junto con Miguel de Guzmán (delante a la izquierda), entre otros, celebrando del 80 cumpleaños de Antoni Zygmund (en el centro) en la Universidad de Chicago.

Una vez defendida en mayo de 1981 su tesis, que fue codirigida por Mitchell Herbert Taibleson y Guido Leopold Weiss, ambos descendientes del analista Antoni Zygmund, y enigmáticamente intitulada “*Weighted Hardy spaces on Hermitian Hyperbolic Space*”, regresa el doctor Dorronsoro a España para incorporarse al Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM), uno de los más excelsos del mundo. De esta época datan sus destacadas contribuciones al análisis armónico, como el artículo “*A characterization of potential spaces*” publicado en 1985 en el volumen 95 de la revista *Proceedings of the American Mathematical Society*. De acuerdo con sus

² Wigner, E.P. (1960): “The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences”. Richard Courant lecture in mathematical sciences delivered at New York University, May 11, 1959. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13: 1-14. doi:[10.1002/cpa.3160130102](https://doi.org/10.1002/cpa.3160130102)

³ De Guzmán Ozámiz, M. (2003): “Los goces estéticos del quehacer matemático”. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 97, nº 2, pág. 351.

pares, “un clásico de la mayor importancia”⁴. José Dorronsoro se encuentra también entre los excepcionales matemáticos que han dado nombre a un teorema: el segundo enunciado en el manuscrito “*Differentiability Properties of Functions with Bounded Variation*”, que apareció el año 1989 en el volumen 38 de la publicación *Indiana University Mathematics Journal*, y aún es objeto de estudios y citas.

2. PISADAS

Tras alcanzar la madurez científica en el Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Madrid, el profesor Dorronsoro otea nuevas cumbres, cuya coronación será motivo de justa honra e inmensa satisfacción. En 1989 forma parte del grupo de profesores de la UAM (Vicente López, José Dorronsoro, Roberto Moriyón, Juan Alberto Sigüenza y José Luis Zaccagnini) que construyen un pionero y ejemplar puente entre empresa y universidad con la creación del Instituto de Ingeniería del Conocimiento (IIC). Por otra parte, desde finales de los años ochenta, la UAM explora la posibilidad de ampliar su oferta académica con disciplinas que sean complemento de las tradicionales.

La experiencia con la implantación de los estudios de psicología, exitosa como revelaría su notable crecimiento con el transcurrir de los años, sería renovada con el diseño de los estudios de ingeniería en informática estructurados en un plan moderno y ágil (cuatro cursos académicos, en un área habituada a carreras de cinco y seis años), con una sólida base y orientación científica. Colaboraron en la aventura, alentada por el entonces rector Cayetano López, Eugenio Hernández como vicerrector de estudiantes, Santiago Carrillo desde el departamento de Matemáticas, y profesores de diverso origen, muchos de ellos compañeros en el establecimiento del IIC: Juan Alberto Sigüenza desde la biología, Vicente López, desde la química, Javier Garrido y Javier Martínez desde la física, Manuel Alfonseca, desde la ingeniería de telecomunicación, Roberto Moriyón y José Ramón Dorronsoro, verdadero motor del proyecto, desde las Matemáticas.



El profesor Dorronsoro junto a los recién egresados Ingenieros e Ingenieras en Informática de la primera y segunda promoción de los estudios implantados en la UAM.

Pudiera parecer sorprendente el descamino. Observemos no obstante que la elección es muestra de la radical libertad con la que nuestro caminante orienta su deambular: Si la matemática no es solamente el lenguaje de la la abstracción, sino que también describe las interacciones en el mundo físico, puede y debe sustentar el progreso de la ingeniería tras sus primeros balbuceos en la construcción y manipulación de ingenios hacia su madurez y realización plena. La profunda conexión entre matemática y computación había sido anticipada ya en la primera mitad del siglo XIX por Ada Lovelace en sus comentarios sobre los posibles usos la máquina analítica diseñada, pero nunca construida, por el polímata (matemático, filósofo, inventor, ingeniero) Charles Babbage.

⁴ Hytönen, Tuomas & Naor, Assaf (2016): Heat flow and quantitative differentiation. Accepted for publication in the "Journal of the European Mathematical Society".

En las anotaciones que acompañaban a su traducción de la memoria del ingeniero italiano Menabrea sobre dicha máquina Ada Lovelace dice de ella, en un ejercicio de ciencia poética que habría enorgullecido a su padre, el ausente, irresponsable Lord Byron, que "[...teje] patrones algebraicos del mismo modo que el telar de Jacquard teje flores y hojas". Más aún, en una perspicaz observación, especula con la posibilidad de que la máquina analítica actúe "[...] sobre otro tipo de objetos, además de números, siempre y cuando las relaciones fundamentales entre dichos objetos pudieran ser expresadas mediante las de la ciencia abstracta de las operaciones"⁵.

Es el matemático Alan Turing quien la primera parte del siglo XX establece de manera rigurosa y formal la conexión entre el proceso de demostración en lógica y la computación por medio del diseño de un sencillo dispositivo mecánico, la máquina de Turing universal, capaz de emular cualquier cálculo efectivo imaginable. Turing se sirvió de dicho ingenio para demostrar que el problema de la decisión (*Entscheidungsproblem*), lanzado como desafío por Hilbert en 1928, no puede tener solución⁶. El objetivo de tal reto era diseñar un procedimiento general que permitiera, dentro de un sistema de lógica simbólica, como la lógica de predicados, determinar si una proposición formulada en el lenguaje de dicho sistema es demostrable o no.

La inexistencia de dicho procedimiento, establecida de manera independiente por Alan Turing utilizando máquinas de Turing y por Alonzo Church utilizando el cálculo lambda, unida a los resultados de Gödel acerca la imposibilidad de construir sistemas formales axiomáticos suficientemente potentes como para contener cierta porción de la aritmética elemental que, además de estar libres de contradicción, sean completos (es decir, en los que cualquier proposición pudiera ser demostrada o refutada), o de demostrar, dentro del propio sistema, que dicho sistema formal está libre de contradicciones, dan al traste con el programa formalista de Hilbert para disolver el *ignorabimus* en la más exacta de las Ciencias⁷. Quizás es la necesidad de aceptar la imperfección y reducir nuestro discurrir a lo razonable (parafraseando a Wittgenstein: todo lo que es pensable, puede ser pensado con nitidez; del resto preferible es guardar silencio⁸), la que impele a nuestro caminante a centrarse en el estudio de lo computable; es decir aquello que se puede calcular de manera efectiva mediante la aplicación de una secuencia de instrucciones (un algoritmo) a unos datos de entrada apropiadamente codificados.

3. ESTELAS

Y dentro de lo computable, ¿cuáles son los renovados objetivos de nuestra exploración? No creo que a estas alturas de nuestro recorrido resulte sorprendente la elección de la inteligencia, o, de manera más concreta, su encarnación en sistemas computacionales capaces de aprender, como nuevo horizonte. Tras constatar las limitaciones de un enfoque simbólico, basado en estructuras de jerarquías prefijadas, esclavas de la regularidad de una gramática generativa, o del inflexible corsé de la deducción lógica, el camino elegido es el de la inducción a partir de la experiencia. Como el propio Dorronsoro nos recuerda en su lección dictada en la UAM con ocasión de la inauguración del curso académico 2006-2007⁹, ya a principios del siglo XX el matemático, ingeniero e inventor Leonardo Torres Quevedo anticipa la necesidad de que los agentes artificiales (autómatas), a imitación de los biológicos, estén dotados de mecanismos de adaptación: "Es necesario que los autómatas imiten a los seres vivos, ejecutando sus actos con arreglo a las impresiones que reciben y adaptando su conducta a las circunstancias"¹⁰.

⁵ Lovelace, Ada (1843): "Translator's Notes to M. Menabrea's Memoir," *Scientific Memoirs* 3, 712. Traducción del autor.

⁶ Turing, Alan M. (1937): "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, Proceedings of the London Mathematical Society, Volume s2-42, Issue 1, 1, pages 230-265 <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.230>

⁷ Copeland, B. Jack (2017): "The Church-Turing Thesis", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/church-turing>

⁸ Wittgenstein, Ludwig (2010): "Tractatus Logico-Philosophicus", Project Gutenberg.

⁹ Dorronsoro, José Ramón: "Tecnología, Computación e Inteligencia, Lección Inaugural del curso" 2006-2007, Universidad Autónoma de Madrid.

¹⁰ Torres Quevedo, Leonardo (1913): "Ensayos sobre Automática". *Revista, Ciencias Exactas, Academia de Ciencias (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales) XII*: 391-419.

Aparte de la máquina universal que porta su nombre, a Alan Turing puede ser atribuido también el primer esbozo de un completo programa para el diseño de sistemas inteligentes incluyendo la capacidad de aprender a partir de la interacción con su entorno¹¹. Otro antecedente intelectual que permea el trabajo de José Ramón Dorronsoro en el área de la Inteligencia Artificial son los minuciosos estudios acerca del sistema nervioso del hombre y los vertebrados realizados por Santiago Ramón y Cajal¹², quizás el más grande científico español de todos los tiempos, por los que recibiría el premio Nobel en 1906, junto al citólogo italiano Camillo Golgi. En sus investigaciones Ramón y Cajal utiliza las técnicas de tinción del tejido nervioso con nitrato de plata puestas a punto por Golgi¹³ para demostrar que, al contrario de lo que sostenía la teoría reticular propugnada por el propio Golgi, las células nerviosas son entidades independientes y que los impulsos nerviosos son transferidos de una neurona a otra en puntos de proximidad entre ellas: las sinapsis¹⁴.

La arquitectura conexionista del sistema nervioso inspiró el diseño de las redes neuronales artificiales. Dichas redes están constituidas por unidades (neuronas) que procesan e intercambian mensajes. Cada neurona, de manera individual, realiza un procesamiento relativamente simple de las señales recibidas. Dichas señales, una vez procesadas, son transmitidas a otras neuronas que tienen conexiones sinápticas con la neurona en cuestión. A pesar del sencillo diseño de las neuronas individuales, si estas son conectadas en una red estructurada en capas, es posible construir potentes sistemas de decisión, en los que, a través del ajuste de los pesos de las conexiones sinápticas, es posible aprender a predecir por inducción automática a partir de ejemplos. Siempre y cuando exista al menos una capa oculta entre la de entrada, la cual recibe la descripción del ejemplo a procesar (por ejemplo, los síntomas que presenta un paciente), y la de salida, en la que se obtiene la predicción (en nuestro ejemplo, el diagnóstico) y que el procesamiento realizado de manera individual por cada una de las neuronas de dicha capa oculta sea no lineal, podremos en principio representar cualquier concepto (la relación entre descriptor y etiqueta predicha) suficientemente regular.

Como en el cerebro, la representación del concepto aprendido es subsimbólica y distribuida; es decir, difícil de interpretar de manera inteligible para un humano. A pesar de los éxitos del paradigma neuronal, la analogía biológica presenta limitaciones, tal y como ilustra el moroso avance de las iniciativas europea *The Human Brain Project*¹⁵, y estadounidense *The Brain Initiative*¹⁶: el cerebro humano es mucho más sofisticado que el más elaborado de nuestros modelos computacionales; ciertamente mucho más complejo que el perceptrón multicapa, el tipo de red neuronal descrito anteriormente, incluidas, a pesar de sus extraordinarios logros en el procesamiento de imágenes y de lenguaje natural, sus versiones profundas¹⁷.

De entre las investigaciones realizadas por José Ramón Dorronsoro con un enfoque conexionista del aprendizaje, destacan las contribuciones al filtrado de señales con ruido mediante redes neuronales autoasociativas¹⁸, el empleo de herramientas de la geometría Riemanniana para la

¹¹ Turing, Alan M. (1950): "Computing machinery and intelligence". *Mind*, Volume LIX, Issue 236, pp. 433-460 <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

¹² Ramón y Cajal, Santiago (2012): "Histología del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados". Boletín Oficial del Estado y Ministerio de Sanidad y Consumo.

¹³ Mishqat, Isra: "Camillo Golgi's Black Reaction for Staining Neurons". Embryo Project Encyclopedia (2017-05-26). ISSN: 1940-5030 <http://embryo.asu.edu/handle/10776/11522>

¹⁴ Ramón y Cajal, Santiago (1952): "¿Neuronismo o reticularismo?: las pruebas objetivas de la unidad anatómica de las células nerviosas". Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto Ramón y Cajal.

¹⁵ <https://www.humanbrainproject.eu>

¹⁶ <http://www.braininitiative.org>

¹⁷ LeCun, Yann; Bengio, Yoshua; Hinton, Geoffrey (2015): "Deep learning" *Nature*, 521, pp. 436-444 <https://doi.org/10.1038/nature14539>

¹⁸ Dorronsoro, José R.; López, Vicente; Santa Cruz, Carlos; Sigüenza, Juan A. (2003): "Autoassociative neural networks and noise filtering," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 51, nº 5, pp. 1431-1438. <https://doi.org/10.1109/TSP.2003.810276>

aceleración del aprendizaje en perceptrones multicapa mediante gradientes naturales¹⁹, y el ingenioso diseño de perceptrones multicapa que realizan una transformación no lineal de los atributos que caracterizan los ejemplos a predecir para, en esta nueva representación, ser procesados por un discriminante de Fisher²⁰. Este trabajo anticipa su posterior interés por las máquinas de vectores soporte, en las que tras haber realizado una inmersión del descriptor de los ejemplos cuyas etiquetas de clase se desea predecir en un espacio extendido de características (generalmente no lineales, posiblemente de dimensión infinita), se utiliza un modelo lineal para la predicción²¹.

Tales máquinas de aprendizaje tienen la peculiaridad de que sus predicciones dependen únicamente de un subconjunto de ejemplos de entre los utilizados para su entrenamiento; en concreto, para problemas de clasificación, de aquellos que delimitan de manera óptima la frontera entre las clases (maximizan el margen). Dentro de este fructífero paradigma se desarrolla gran parte de la investigación reciente de José Ramón Dorronsoro, con contribuciones reseñables a la mejora de la eficiencia de los algoritmos de optimización utilizados para entrenar dichas máquinas²², la formulación unificada de diversos métodos de predicción relacionados con las máquinas de vectores soporte²³ y su entrenamiento mediante un enfoque geométrico²⁴. Como parte de su actividad de transferencia e innovación destacan sus trabajos en energías renovables, los cuales versan sobre la aplicación de métodos de aprendizaje automático a la predicción de la potencia generada en parques eólicos y solares²⁵.

Finalmente, en este entramado de veredas que se cruzan, recordar sus investigaciones sobre mapas de difusión, inspiradas por el trabajo de su admirado Ronald R. Coifman, uno de los investigadores de referencia en el campo del análisis armónico, pero también en el de la computación, en el curso de las cuales llega a desvelar la huella de la geografía de la península ibérica escondida cual preciado filón en datos meteorológicos²⁶. En estos trabajos son realizados a la cabeza del Grupo de Aprendizaje Automático del departamento de Informática de la UAM [<http://www.eps.uam.es/~gaa>] y en colaboración con investigadores del IIC.

Admira de esta época su capacidad de trabajo, como si José Ramón Dorronsoro fuera, en este jardín, capaz de desdoblarse con cada bifurcación de los senderos: es el primer director del Departamento de Ingeniería Informática de la UAM, organiza el congreso internacional *International Conference on Neural Networks* en su edición del año 2002; lidera proyectos de investigación, innovación y desarrollo tanto en el Departamento de Ingeniería Informática de la UAM como en el IIC; se pone al frente del Vicerrectorado de Innovación, Transferencia y Tecnología entre 2009 y 2013, impulsando el campus de excelencia UAM+CSIC, implantando la herramienta Moodle para docencia en red, elaborando junto con los equipos de dirección de los centros, planes estratégicos, llevando a cabo una profunda reestructuración del Parque Científico de Madrid, incluido el fomento del

¹⁹ González, Ana; Dorronsoro, José R. (2008): "Natural conjugate gradient training of multilayer perceptrons", *Neurocomputing*, Vol. 71, Issues 13-15, pp. 2499-2506. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2007.11.035>

²⁰ Santa Cruz, Carlos and José R. Dorronsoro (1998): "A nonlinear discriminant algorithm for feature extraction and data classification," in *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 9, n° 6, pp. 1370-1376 <https://doi.org/10.1109/72.728388>

²¹ Cortes, Corinna; Vapnik, Vladimir (1995): "Support-Vector Networks" *Machine Learning* 20(3), pp. 273-297. <https://doi.org/10.1023/A:1022627411411>

²² Barbero, Álvaro; Dorronsoro, José R. (2011): "Cycle-Breaking Acceleration for Support Vector Regression" *Neurocomputing* 74, pp. 2649-2656. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2011.03.024>

²³ Torres-Barrán, Alberto; Aláiz, Carlos; Dorronsoro, José R. (2018): "v-SVM solutions of constrained Lasso and Elastic net" *Neurocomputing* 275, pp. 1921-1931. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.10.029>

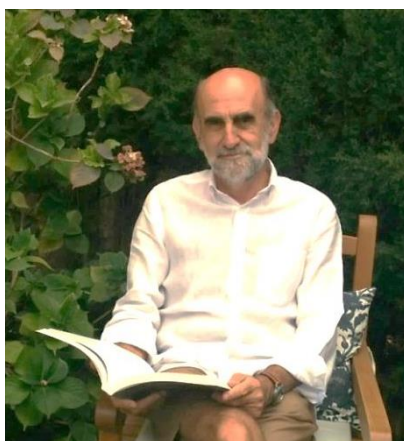
²⁴ López, Jorge; Barbero, Álvaro; Dorronsoro, José R. (2011): "Clipping algorithms for solving the nearest point problem over reduced convex hulls". *Pattern Recognition* 44(3), pp. (March 2011), 607-614. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2010.08.030>

²⁵ Torres-Barrán, Alberto; Alonso, Álvaro; Dorronsoro, José R. (2017): "Regression tree ensembles for wind energy and solar radiation prediction", *Neurocomputing*. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.05.104>

²⁶ Fernández, Ángela; González, Ana M.; Díaz, Julia; Dorronsoro, José R. (2015): "Diffusion maps for dimensionality reduction and visualization of meteorological data". *Neurocomputing* 163, pp. 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2014.08.090>

emprendimiento y la redacción de la normativa UAM para empresas de base tecnológica. Y de este modo, con parejo entusiasmo y eficacia, un sinfín de proyectos.

¿Y el futuro? Quizás ya haya comenzado: El 24 de octubre de 2005, Stanley, un Volkswagen Touareg diseñado por ingenieros de la universidad de Stanford y de Volkswagen, recorre 132 millas a través del desierto de Mojave, en el oeste de los Estados Unidos, guiado por sí mismo, sin intervención humana. Admiramos este vehículo autónomo, ganador la competición *Grand Challenge 2005*, organizada por *Advanced Research Projects Agency* (DARPA), en el Smithsonian National Museum of American History de la ciudad de Washington. Somos testigos del inicio de una revolución tecnológica que el investigador Dorronsoro anticipa reposada, alejada de extravagancias (la quimérica singularidad²⁷, la lejana superinteligencia, el cuestionable transhumanismo) pero inexorable: el aprendizaje automático, a cuyo desarrollo tanto ha contribuido nuestro caminante, ha alcanzado finalmente un grado madurez suficiente como para transformar el mundo. Tenemos como científicos la disposición y responsabilidad de explorar esta nueva ruta con alborozo por lo ya logrado, anhelo del progreso posible, tenacidad frente a los escollos y prudencia para evitar las simas.



El caminante en su jardín

En estos ires y venires nos hemos deleitado con el exquisito cálculo contrapuntístico de Bach, la imposible y delicada sencillez de Mozart (no ha habido tiempo aún para llegar a la rotunda genialidad de Beethoven; quizás en breve), la sensible honestidad de James Taylor y la clásica, pero renovada, contundencia roquera de Creedence Clearwater Revival. Hemos gozado de la lectura reposada de los poetas del siglo de oro español, sido espectadores de una época y penetrado en la psicología de los personajes que en ella moraban con el profundo Galdós, leído de manera incontenible a Baroja con manta y en zapatillas, empatizado con el desgarrado sufrimiento que nos revela el oscuro Hardy, recreado las cáusticas narraciones del ambiguo Marlowe esculpidas por Chandler. En nuestra senda nos acompañaron tantos estudiantes que recuerdan con afecto la claridad y precisión de las enseñanzas del profesor Dorronsoro, doctorandos aún admirados su fiable dirección y minucioso análisis, colegas que se sienten orgullosos de trabajar en su compañía; perenne, el cariño de la siempre cercana familia. Y mi personal agradecimiento, por los años de acuerdos, diferencias, conversaciones, debates, colaboraciones; sobre todo, por tu apoyo.

Así como la iniciamos, demos fin a nuestra andadura, de regreso a los acantilados el monte Ulía, escuchando el final del poema, con el Cantábrico en nuestra mirada y en la de José Ramón.

*“Caminante no hay camino
sino estelas en la mar”*

²⁷ La singularidad tecnológica es un término con el que algunos autores, partiendo de la observación de que es posible construir agentes inteligentes cuyas capacidades son cada vez más avanzadas, anticipan que en algún momento se desencadenará una reacción en cadena, en la cual dichos agentes llegarán a idear sistemas más inteligentes que ellos, quienes a su vez producirían otros diseños más elaborados en un ciclo que podría repetirse hasta producir una inteligencia infinitamente superior a la concebible por el ingenio humano.