

INSTITUTO DE ESPAÑA

HOMENAJE A LA ANTIGÜEDAD ACADÉMICA

CELEBRADO EL 17 DE DICIEMBRE DE 2024
EN HONOR DEL EXCMO. SR. D.

JAIME GIL ALUJA

DE LA REAL ACADEMIA
DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y FINANCIERAS



MADRID, 2024



Jaime Gil Aluja

Homenaje ofrecido en nombre del Instituto de España
por el Excmo. Sr. D. VICENTE LIERN CARRIÓN,
de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Excelentísimos Señor Presidente y Miembros de la Junta Rectora del Instituto de España,
Señoras y Señores académicos, Señoras y Señores

Permítanme, en primer lugar, expresar mi profundo agradecimiento a la Junta Rectora del Instituto de España por concederme el privilegio de tomar la palabra, en nombre de todos, en este Homenaje a la Antigüedad Académica del año 2024, en honor del Excmo. Sr. Dr. D. Jaime Gil Aluja. Admirado maestro, inspirador de multitud de investigadores, entre los que me encuentro, y querido presidente de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras (RACEF).

Al honor de mostrar la excelente trayectoria y los méritos de nuestro homenajeado, se añade la responsabilidad de ofrecer una semblanza de su vida académica y profesional que permita vislumbrar una panorámica general de las repercusiones de su investigación en el ámbito de la Economía, la Empresa y en general en la toma de decisiones.

A finales de los años ochenta, asistí a un curso del profesor Gil Aluja en la Universidad de Valencia. En esa época, la confianza en que mi formación como matemático fuese adecuada en el día a día de las decisiones económicas, no pasaba por su mejor momento. Conocer la lógica difusa de la mano de un pionero, hizo que, desde ese momento, pasase a formar parte de lo que nuestro académico, Dr. Enrique López González, califica como "eslabones que, entrecruzados a lo largo del tiempo, pasaron por el aro de oro de sus enseñanzas". Posteriormente, he tenido el privilegio de compartir con el profesor Gil Aluja muchas horas de conferencias, viajes, reuniones o simplemente paseos, que me han permitido conocer una parte de su vida personal y académica.

ca. Pero como no quisiera que la memoria me llevase a idealizar algunos pasajes, he tenido la suerte de contar con la ayuda de su legado biográfico, titulado "La vida es una estrategia de suma nula", publicado por nuestra Real Academia, al que se unirá el legado del resto de académicos.

Este mes de diciembre serán ya cincuenta y uno los años transcurridos desde que un joven profesor e investigador de apenas treinta y siete años, contase con los méritos suficientes para ingresar en la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Más de medio siglo de acciones y reflexiones no solo cultas y académicas, sino también llenas de sabiduría con las que nos ha obsequiado a los que hemos sido sus discípulos.

Desde luego, no es mi intención resumir su dilatada vida en unas pocas palabras, ni enumerar un extraordinario currículum galar-donado con 32 doctorados Honoris Causa, la pertenencia a 11 Academias científicas, un elevadísimo número de distinciones tanto a nivel español como internacional, tan importantes como, por ejemplo, la Gran Cruz de Alfonso X El Sabio; o su elevada actividad científica con más de 200 trabajos publicados en diversas revistas y alrededor de 30 libros en varias lenguas. Intentar enumerar todos los logros del homenajeado excedería con mucho un tiempo razonable de intervención, así que me conformaré con sintetizarlos adjunto al final de mi texto y dedicar estas palabras a intentar exponer brevemente el porqué de estos logros.

Recién iniciada la Guerra Civil, Jaime Gil Aluja nace en Reus, una ciudad emprendedora y con una rica tradición histórica que se vio muy afecta por la contienda. Su familia sufrió perjuicios directos, entre los que se incluye la pérdida de su padre cuando Jaime apenas contaba con ocho meses. Esa infancia de posguerra, marcada por una situación económica difícil y una madre cuya capacidad de sacrificio y de trabajo le permitieron sacar adelante a su hijo, han marcado la personalidad de nuestro homenajeado. Aunque en aquel momento seguramente no era consciente, el microcosmos social de su barrio de Reus le estaba revelando la

importancia de las estructuras sociales y la interacción humana, referencias constantes en la investigación del Dr. Gil Aluja.

Perteneció a la primera promoción de una recién creada Facultad de Ciencias Políticas, Económicas y Comerciales de la Universidad de Barcelona. Fue allí donde consolidó una carrera académica brillante que culminó con la obtención de una cátedra. Siendo estudiante, se incorporó como becario a la Sociedad Española de Automóviles de Turismo (SEAT), donde ascendió rápidamente hasta convertirse en Adjunto a la Dirección General. Por sus manos pasó la gestión de los costes del mítico SEAT 600. Este ejercicio práctico de la Economía implicaba combinar las responsabilidades del mundo laboral con las de profesor en la universidad. Cuando se vio obligado a elegir, a pesar de contar con una generosa oferta de director general, afortunadamente, Gil Aluja priorizó su pasión por la docencia y la investigación.

Desde sus inicios como investigador, su manera práctica de entender la ciencia lo llevó a la búsqueda de algoritmos. De hecho, el tema elegido para su tesis doctoral ya fue la creación de un algoritmo capaz de gestionar sistemas organizativos complejos de costes. Su interés por las matemáticas y el acceso a tecnología avanzada en SEAT, como las máquinas electrónicas, fueron elementos clave que le permitieron desarrollar su investigación en este campo novedoso.

En ocasiones, el destino propicia que se produzca el encuentro entre personas excepcionales, y este el caso de nuestro homenajeado y el profesor Arnold Kaufmann. Entre ellos no solo hubo una influencia académica y personal, que perduró hasta la muerte del doctor Kaufmann casi un cuarto de siglo después, sino que también surgió el primer nodo de una red de conexiones entre académicos de distintas partes del mundo. Las discusiones y el intercambio de ideas entre los participantes, muchos de los cuales se han mantenido en el tiempo, llevaron a Gil Aluja a colaborar con multitud de instituciones internacionales, entre las que destacaré la Universidad Paris-Dauphine y el parque tecno-

lógico Sophia Antipolis en Francia. En esta red de investigación está el germen de lo que actualmente es la Barcelona Economics Network.

Kaufmann y Gil Aluja fueron pioneros en reconocer que explicar y tratar de modelar un mundo plagado de incertidumbre requiere un tratamiento que va más allá de las matemáticas tradicionales. Estamos inmersos en una sociedad sometida a cambios profundos para los que no resulta fácil estimar las consecuencias sobre las personas, las instituciones y las relaciones entre ellos. Esta situación, que se incrementa cada día, aún se hace más evidente cuando nos referimos a la actividad económica, donde los modelos mecanicistas resultan insuficientes.

La mayoría de herramientas clásicas para el modelado formal, el razonamiento y el cálculo informático son rígidas, deterministas y de carácter preciso. Suele asumirse que las estructuras y los parámetros del modelo son conocidos y representan exactamente nuestra percepción del fenómeno tratado y las características del sistema real estudiado. Generalmente, la precisión también implica que el modelo no contiene ambigüedades y, de hecho, pocas veces se plantean explícitamente dudas sobre sus valoraciones o su ocurrencia. Sin embargo, cualquier gestor sabe que a menudo solo disponemos de información parcial sobre la realidad y normalmente no puede asociarse con ninguna variable concreta.

Jaime Gil Aluja nos ha hecho reflexionar que la incertidumbre puede presentarse de diversas formas. La falta de información sobre el estado futuro del sistema responde a una incertidumbre estocástica, a la que se puede aplicar probabilidad; pero cuando hay vaguedad inherente a la descripción del significado de los hechos, estamos ante una realidad difusa, y en este caso no tiene sentido asignar probabilidades. Como advierte el profesor, estos dos tipos de incertidumbre no son excluyentes y aparecen especialmente en las áreas en las que el juicio humano, la evaluación y la decisión son imprescindibles, tal y como sucede en

toda actividad económica o empresarial.

Consciente de la necesidad de flexibilizar los modelos mecanicistas, a mediados de los años sesenta, Lotfi A. Zadeh introdujo la Teoría de Conjuntos Borrosos, cuyo objetivo era proporcionar las bases del razonamiento aproximado utilizando premisas imprecisas como instrumento para formular el conocimiento. Se trataba de introducir toda la gama de grises entre el blanco y el negro. Sin embargo, admitir una lógica que no es booleana y que, por ejemplo, no acepta el tercio excluido aristotélico, no fue fácil al principio. A pesar de ello, Kaufmann y Gil-Aluja adoptaron y contribuyeron de manera decisiva a esta forma de pensamiento, porque, en sus propias palabras,

“es una parte de las matemáticas que se halla perfectamente adaptada al tratamiento tanto de lo subjetivo como de lo incierto. Es un intento de recoger un fenómeno tal cual se presenta en la vida real y realizar su tratamiento sin intentar deformarlo para hacerlo preciso y cierto.”

(Kaufmann, A. y Gil-Aluja, J. (1986). *Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas*, p. 18.)

Este convencimiento se hizo explícito con el «Principio de simultaneidad gradual», presentado por Gil Aluja en 1996 en el Congreso SIGEF de Buenos Aires, que afirma que «Toda proposición es a la vez verdadera y falsa, a condición de asignar un grado o nivel a su verdad y un grado o nivel a su falsedad». Sin duda este fue el punto de inflexión en la transición de una ciencia económica mecanicista a una ciencia económica humanista.

Esta nueva forma de entender la Economía no era solo una propuesta filosófica o teórica, sino que uno de los puntos fuertes de la nueva visión era su practicidad. El profesor Gil Aluja utilizó y desarrolló gran parte de sus aportaciones científicas como asesor de importantísimas empresas y en la que es una de sus grandes pasiones: el Fútbol Club Barcelona. La relación profesional con el club comenzó de manera inesperada y pocos meses después, en 1988 ya es elegido Presidente de su Comisión Económico-Esta-

tuaria. Además, desde 1994 colaboró como miembro del Comité de Cultura del F. C. Barcelona. Aunque abandonó toda su vinculación laboral con el club cuando en 2002 es elegido Presidente de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, según reconoce el propio doctor Gil Aluja, sus teorías sobre cooperación, estrategia y toma de decisiones deben mucho a su etapa de gestión en el club.

Nuestro homenajeado además de ser un pionero de la nueva forma de modelar en Economía, contribuyó decisivamente a la tarea de dar

“fin a la antigua dicotomía entre emoción y razón, entre intuición y razonamiento. Estamos hechos de ambos; somos seres complejos fruto de una evolución biológica que eligió el camino de la supervivencia entre los posibles caminos, que no siempre resultó ser el más recto.”

(Gil-Aluja, J. (2012). *La ciencia ante el desafío de un futuro progreso social sostenible*. Real Academia de Doctores Barcelona, p. 69-70.)

EL *homo economicus* de la escuela neoclásica se ha convertido en un individuo que incorpora emociones cuando toma decisiones y éstas también son imperfectas e irracionales. Surge así otro de los grandes logros de Gil Aluja: la necesidad de una economía humanista. Se trata de crear un marco que integre los valores humanistas dentro de la teoría económica. Su trabajo en el ámbito de la matemática no numérica y la teoría de la incertidumbre lo llevó a replantear muchos de los fundamentos de la economía tradicional, buscando una nueva ciencia económica que fuera más acorde con las complejidades del mundo moderno. En 2021, la Junta General de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras dio un carácter oficial a la marcada tradición humanista en las investigaciones económicas de la Escuela de Barcelona, que se materializó con el nacimiento formal de la Escuela de Economía Humanista de Barcelona.

Su finalidad es fortalecer la cohesión entre grupos de investigadores de la ciencia económica de todos los continentes para

transformar los instrumentos y operadores lógicos y matemáticos de corte mecanicista en elementos teóricos y técnicos aptos para conseguir un tratamiento humanista y capaces de abordar problemas complejos que la fenomenología real plantea al mundo de la investigación. Testimonios, como el del Premio Nobel Finn Kydland, avalan los trabajos realizados por la Escuela de Economía Humanista de Barcelona, muchos de los cuales se recogen en publicaciones de la RACEF, como el Observatorio Económico-Financiero o los libros de Actos Nacionales e Internacionales.

Durante más de cuatro décadas de innovaciones conceptuales y transformaciones profundas de la gestión económica, Jaime Gil Aluja fue creando algoritmos, muchos de los cuales pueden utilizarse en abierto desde la página web de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras en la sección de *Algoritmos humanistas*. Una buena parte de estos algoritmos son de programación clásica, es decir tienen implementadas unas reglas que, a partir de los datos proporcionan soluciones. Pero como veremos, aquí no acaba el interés de nuestro homenajeado por las nuevas tendencias.

A principios de los años 90, los profesores Kaufmann y Gil Aluja, junto con la doctora Ana Maria Gil, académica de la RACEF y directora del Observatorio de Investigación Económico-Financiera, publicaron el libro “La creatividad en la gestión de las empresas”. En esta obra, abordan las distintas formas del diálogo hombre-máquina, así como la organización de grupos de creatividad. Es una invitación a potenciar la que denominan *imaginación artificial*, mostrando la computadora como un instrumento valioso en la creatividad. De poco servirá desarrollar sólo la inteligencia organizada si se reduce excesivamente la imaginación, porque ambas son necesarias para interactuar con la sociedad que nos rodea.

Los algoritmos de la inteligencia artificial, o como precisa el doctor Gil Aluja del *razonamiento artificial*, no necesitan reglas, sino que a partir de los datos, la computadora creará sus propias reglas (aprenderá) y con ellas se obtendrán soluciones para otros datos.

De ahí que en estos momentos, el poder resida en la información. Cuando los algoritmos son capaces de aprender por sí solos, los propios datos se transforman en propiedad intelectual. Por eso es necesario intentar sacar el máximo partido para obtener ventajas significativas en todos los ámbitos. Como afirma Chris Geiser, director de tecnología de The Garrigan Lyman Group,

“Entender las matemáticas y los patrones te ayudará hasta cierto punto. Lo más importante es entender cada una de tus fuentes de datos”.

(Tuneu, D. (2020). *Inteligencia artificial en logística: cómo puede mejorar la eficiencia de tus procesos.*)

En la última década, el profesor Gil Aluja ha participado y presidido multitud de actos nacionales e internacionales que tenían por objetivo analizar las aplicaciones de la inteligencia artificial a distintos escenarios de las Ciencias Sociales, varios de ellos desarrollados en el seno de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras.

Al principio de mi intervención, advertía que iba a intentar mostrar algunos de los porqués del deslumbrante currículum de Jaime Gil Aluja y no sería justo pasar por alto uno de los más importantes: su familia. Su esposa Anne Marie, sus hijos, Anna María y Jaime y sus tres nietos siguen siendo la energía que pone en marcha la inagotable voluntad transformadora del profesor, para

“que quienes sean beneficiarios de nuestros cambios puedan decir, mañana, que gracias a nosotros viven en un mundo mejor, un mundo más justo, más libre y más solidario”.

(Gil-Aluja, J. (2015). *El futuro de los estudios económicos.*

Nombramiento Honoris Causa en Universidad Siglo 21.)

Muchas gracias por permitirme participar en este día de celebración de la excelencia de la antigüedad académica de Jaime Gil Aluja, maestro y fuente de inspiración de muchos de nosotros.

Vicente Liern Carrión

CURRÍCULUM

Estudios, actividad docente y de gestión de empresas

Licenciado en Ciencias Políticas, Económicas y Comerciales por la Universidad de Barcelona en 1959. Doctor en Ciencias Políticas, Económicas y Comerciales por la Universidad de Barcelona con calificación Sobresaliente "Cum Laude" en 1964. Diplomado en Organización y Dirección de Empresas por la Escuela de Administración de Empresas (E.A.E.) de Barcelona en 1977. Censor Jurado de Cuentas por concurso-oposición en 1979.

Con una trayectoria docente de cuarenta y cinco años, ha sido catedrático de Economía Financiera de la Universidad de Barcelona, profesor de la Universidad de Paris Dauphine y terminó su actividad universitaria como catedrático emérito de universidad en 2012.

Ha compatibilizado la investigación con la gestión en empresas e instituciones financieras. Desde 1960 hasta 1968 fue Jefe Superior de la Sociedad Española de Automóviles de Turismo, S.A. (SEAT) y posteriormente Asesor Técnico y Económico de la Dirección General de esta sociedad hasta 1985.

Desde 1969 hasta 1985 fue Consejero Delegado de la Compañía de Desarrollo y Financiación, S.A. (CODEFINSA), de la Sociedad General Eurofinanza, S.A. (EUROFINANZA) y del Fondo Internacional de Pintura, S.A.(FIPSA). Ocupó, también, el cargo de Director del Gabinete de Estudios de la Asociación de Promotores y Constructores de Edificios (APCE) de Barcelona. En 2009 es designado miembro del Consejo General de "La Caixa" y poco después es elegido Presidente de la Comisión de Control de esta Institución hasta 2012.

Desde 2010 hasta 2013 es miembro del Consejo de Administración de SANEF, "Société Autoroutes du Nord-Est de la France SA" (Paris). Miembro del Consejo Asesor de Abertis (España) desde

2013. En 2012 pasa a ocupar el cargo de miembro del Consejo de Administración de VidaCaixa Grupo SA (España), en 2013 pasa a ser Consejero de la Sociedad VidaCaixa SA de Seguros y Reaseguros. En 2019 finaliza sus tareas en el Grupo La Caixa.

En 1988 es elegido Presidente de la Comisión Económico-Estatuaria del Fútbol Club Barcelona, cargo que ocupa hasta el 20 de febrero 2002. Desde 1994 ha sido miembro del Comité de Cultura del Club. Al ser elegido Presidente de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, en 2002 cesa sus responsabilidades en el Fútbol Club Barcelona.

Academias científicas

Es académico de once Academias Científicas: Academia Rumana (Rumania), Academia Delphinale (Francia), Academia de Ciencias Naturales (Rusia), Academia Internacional de Ciencias de la Información (Rusia), Academia Bielorrusa de Ingeniería (Bielorrusia), Academia Internacional de Ciencias Avanzadas (Azerbaijan), Academia Mundial de las Artes y las Ciencias (E.E.U.U), Academia de las Artes y las Ciencias (Montenegro), Academia de Ciencias y Artes de la República de Srpska (Bosnia y Herzegovina) y Academia Europea de Ciencias y Artes (Austria). Desde 2002 preside la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras (España).

Doctorados Honoris Causa

Ha sido investido Doctor Honoris Causa por las treinta y dos universidades siguientes:

- Universidad de Sofía. Bulgaria, 1993.
- Universidad Estatal Económica de Bielorrusia. 1995.
- Universidad de Buenos Aires. Argentina, 1995.
- Universidad Rovira i Virgili. España, 1997.
- Universidad de Vigo. España, 1997.
- Universidad de Reggio Calabria. Italia, 1997.

- Universidad de Oriente. Cuba, 1997.
- Universidad de Lípetsk. Federación Rusa, 1999.
- Universidad de Perpiñán. Francia, 2000.
- Universidad Estatal Ucraniana de Nicolaev. Ucrania, 2000.
- Universidad de León. España, 2002.
- Universidad de la Reunión. Francia, 2002.
- Universidad Montesquieu de Burdeos. Francia, 2003.
- Universidad de Messina. Italia 2004.
- Universidad Estatal Euroasiática de Astana. Kazajistán, 2004.
- Universidad de Girona. España, 2004.
- Universidad de Petrosani. Rumania, 2005.
- Centro de Investigación y Desarrollo del Estado Morelia. México, 2005.
- Universidad Económica Estatal de Azerbaiyán, 2007.
- Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. España, 2008.
- Universidad de Santiago de Compostela. España, 2008.
- Universidad de Timisoara. Rumania, 2009.
- Universidad Estatal de Bielorrusia. Bielorrusia, 2009.
- Universidad Odlar Yurdu. Azerbaiyán, 2011.
- Universidad Técnica de Creta. Grecia, 2012.
- Universidad Lucian Blaga de Sibiu. Rumanía, 2014.
- Universidad de Málaga, España, 2014.
- Universidad Siglo 21 de Córdoba, Argentina, 2015.
- Academia de Estudios Económicos de Moldavia, 2016.
- Universidad de Extremadura. España, 2017.
- Academia de Estudios Económicos de Bucarest. Rumania, 2019.
- Universidad de Kragujevac. Serbia, 2023.

Premios y distinciones

Ha merecido un elevado número de distinciones tanto a nivel español como internacional, entre las que destacan las siguientes:

- Gran Cruz de Alfonso X El Sabio (España).
- Medalla Moisil (Rumania).
- Premio Calabria (Italia).
- Oficial de la Orden de las Palmas Académicas (Francia).

- Caballero de la Orden del Mérito Civil (Francia).
- Comendador de la Orden del Trono del Reino de Marruecos (Marruecos).
- Comendador de la Orden del Mérito Cultural (Rumania).
- Medalla del Bicentenario (Venezuela).
- Medalla de Oro de Creta (Grecia).
- Medalla de Honor del Instituto Nacional de Inventiva (Rumania).
- Medalla de la Academia de Montpellier (Francia).
- Medalla de la Universidad Mediterránea de Reggio Calabria (Italia).
- Medalla de la Universidad de Bordeaux (Francia).
- Medalla de la Universidad Eurasiática de Astana (Kazajistán).
- Medalla del Centenario de la Polish Academy of Sciences (Polonia).
- Premio Kaufmann Internacional (España).
- Llave de Barcelona (España).
- Escudo de oro y brillantes del F.C. Barcelona (España).

Cargos en instituciones nacionales e internacionales

- Miembro Fundador de la European Foundation for Management Development. Bruselas.
- Miembro Fundador de la Asociación Europea de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM).
- Presidente y Fundador de la Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy (SIGEF), desde su creación.
- Miembro del Consejo Directivo y de la Comisión Científica de la Asociación Española de Contabilidad Directiva (ACODI) desde su fundación hasta 1999.
- Presidente de la International Association for Advancement of Modelling and Simulation AMSE. Lyon, Francia, desde 1995.
- Presidente de la MOISIL International Foundation, desde 1993.
- Presidente del Patronato de la Fundación Escuela de Administración de Empresas de Barcelona, desde su creación hasta 2004.
- Vicepresidente de la Fundación para el Estudio de la Gestión en la Incertidumbre (FEGI). España.
- Miembro del Conseil Scientifique et de Recherche de l'INSEAC.

Bordeaux, Francia.

- Miembro del Consejo Asesor del Instituto Superior de Economía Aplicada (ISEA) de Barcelona hasta 2005.
- Presidente del Comité de Relaciones Exteriores de la Asociación Española de Contabilidad Directiva (ACODI), desde 1999.
- Miembro del International Advisory Committee of the International School for Information Technology (ISIT). Andhra Pradesh, India, desde 2001.
- Presidente de la Fundación Europea de Dirección y Economía de la Empresa de 2010 a 2013.
- Miembro del Consejo de la Fondation Jean Monnet pour l'Europe (Lausanne), desde 2013.
- Miembro del Comité Científico del Centro de Investigación de la Red Ilumino. Whitney Internacional. Miami (Florida), desde 2013.
- Vicepresidente de honor de la Fundatia Nationala Pentru Stiinta si Arta. Bucarest 2013.

Trabajos científicos y técnicos

Es autor o coautor de más de 200 artículos y trabajos científicos y técnicos, muchos de ellos considerados como referentes de la gestión de empresas y toma de decisiones bajo condiciones de incertidumbre. Además, ha creado un gran número de algoritmos, que combinan el tratamiento de información en incertidumbre, mediante números difusos, operadores y pasos estandarizados. Una buena parte de estos algoritmos, que se engloban bajo la denominación de *algoritmos humanistas*, se pueden utilizar en abierto desde la página de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras dentro de la sección de Escuela de Economía Humanista de Barcelona.

Por razones de brevedad, de toda la producción científica, a continuación solo se citan los libros, entre los que destacan los elaborados en colaboración con el Dr. Arnold Kaufmann durante casi veinticinco años. En concreto, todos los libros publicados hasta 1994 son de ambos autores.

- Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas. Ed. Milladoiro. Santiago de Compostela, España, 1986.
- Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre. Ed. Hispano Europea. Barcelona, España, 1987.
- Models per a la recerca d'efectes oblidats. Ed. Milladoiro. Santiago de Compostela, España, 1988.
- Las matemáticas del azar y de la incertidumbre. Ed. Centro de Estudios Ramón Areces. Madrid, España, 1990.
- Inversiones, Certeza, Riesgo e incertidumbre, I. Facultad de Ciencias Económicas. Barcelona, España, 1991.
- Nuevas técnicas para la dirección estratégica. Ediciones Universidad de Barcelona. Barcelona, España, 1992.
- Técnicas de Gestión de Empresa. Previsiones, decisiones y estrategias. Ed. Pirámide. Madrid, España, 1992.
- Técnicas especiales para la gestión de expertos. Ed. Milladoiro. Santiago de Compostela, España, 1993.
- La creatividad en la gestión de las empresas. En colaboración con A. M. Gil Lafuente. Ed. Pirámide. Madrid, España, 1994.
- Matemática para la economía y la gestión de empresas. Vol I. (Aritmética de la incertidumbre). En colaboración con A. Terceño. Ed. Foro Científico. Barcelona, España, 1994.
- Grafos neuronales para la economía y la gestión de las empresas. Ed. Pirámide. Madrid, España, 1995.
- La gestión interactiva de los recursos humanos en la incertidumbre. Ed. CEURA. Madrid, 1996. (Versión inglesa de Kluwer Academic Publishers, 1998).
- Invertir en la incertidumbre. Ed. Pirámide. Madrid, 1997. (Versión inglesa de Kluwer Academic Publishers, 1998).
- Elementos para una teoría de la decisión en la incertidumbre. Ed. Milladoiro. Vigo, 1999. (Versión inglesa de Kluwer Academic Publishers. 1999).
- Introducción de la teoría de la incertidumbre en la gestión de empresas. Ed. Milladoiro-Academia de Doctors. Vigo, Barcelona, España, 2002. (Versión inglesa de Ed. Springer 2003).
- Algoritmos para el tratamiento de fenómenos económicos complejos. Bases, desarrollos y aplicaciones. En colaboración

- con A. M. Gil Lafuente. Ed. Universitaria Ramón Areces. Madrid, 2007. (Versión inglesa de Ed. Springer 2012, con el título: "Towards an Advanced Modelling of Complex Economic Phenomena").
- Vivir juntos. Europa, territorio de encuentro o de enfrentamiento. En colaboración con J. F. Pont Clemente. Ed. Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Barcelona, 2016.
 - Un regard vers le passé - Un espoir pour l'avenir. Ed. Fundatia Nationala pentru Stiinta si Arta. Bucarest, 2016.

Gestión científica

Ha participado en el Consejo editorial y científico de 20 publicaciones de prestigio reconocido, al mismo tiempo que ha formado parte de 131 Comités Científicos y de Organización de congresos científicos nacionales e internacionales, presidiendo 49 de ellos.

Contestación del Excmo. Sr. D.
JAIME GIL ALUJA

PAPEL DE LOS OPERADORES SEMÁNTICOS EN LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Excmo. Sr. Presidente del Instituto de España
Excmos. Directores y Presidentes de las Reales Academias
Excmos. Sras. y Sres. Académicos
Amigas y Amigos

Las primeras inquietudes

Con gran placer y profundo agradecimiento, me apresto a tomar la palabra ante tan digno auditorio, para dar respuesta a las generosas palabras del académico que ha sido designado para realizar mi presentación.

Por la propia naturaleza de este homenaje, la antigüedad es atribuida a un miembro de las diez Reales Academias que forman el Instituto de España, que no solo es, habitualmente, de avanzada edad, sino que se incorporó joven a las tareas de una de esas reales corporaciones.

Para el acto que estamos celebrando, la Junta Rectora de la institución que nos acoge ha designado, para esa labor, a un Académico de Número, Excmo. Dr. Vicente Liern, del segmento de incorporaciones más recientes de la Real Academia a la que pertenezco.

Excelente elección, a mi entender, ya que mi avanzada edad comporta que los maestros que me ofrecieron la mano en los momentos más importantes de la vida académica no estén ya con nosotros. En cambio sí se hallan presentes aquellos, los discípulos, a los que pudimos abrirles las puertas del conocimiento económico.

Mí sentido agradecimiento al Dr. Vicente Liern por haber aceptado el trabajo que le ha sido encomendado y por la gran labor

que está realizando como Académico de Número en la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras.

La ausencia física de los que fueron nuestros maestros no debe ser motivo de olvido. A ellos les debemos una parte importante de ser como somos y, casi siempre, la más positiva.

Esto me ha inducido a elegir como respuesta a la presentación de mi persona, un tema tan ligado a la generosidad de mi maestro Arnold Kaufmann (1911-1994), como es “La utilización de operadores semánticos en Inteligencia Artificial (I.A.)” en general, y en algoritmos humanistas en particular.

Sea, pues, este trabajo un recuerdo de homenaje a su memoria.

Por consejo del Profesor Kaufmann, y gracias a la intercesión del Dr. Jacques Pezé (1923-2009) fui invitado a presenciar, primero, y a participar, después, en las reuniones periódicas de un selecto grupo de intelectuales europeos o residentes en Europa, que firmaban sus trabajos con el nombre de “Quadrivium”¹, preocupados por lo que llamaban “desafío tecnológico”.

Estamos hablando de un periodo de tiempo situado a mediados del decenio de los años 60 del pasado siglo XX. En sus propias palabras rechazaban la idea de que “el humano se convirtiera en una entidad de consumo controlable”. En su espíritu anidaba el temor al entonces “nuevo” mecanicismo que sujetaba el humano al servicio de la máquina.

De otras maneras, en formas distintas y con mayor intensidad, si cabe, se reproduce hoy ese problema agravado por las incidencias de la revolución digital y del “big data” así como por las consecuencias del transhumanismo.

¹ Quadrivium: “La civilisation promotionnelle”. Robert Morel Ed. Dragignan, 1968, pág. 9.

El tratamiento de la incertidumbre del futuro

Como acostumbra a suceder en tantas ocasiones, la ciencia económica no está dando las debidas respuestas al desajuste provocado por la falta de adaptación de las estructuras de gestión obsoletas en relación a los nuevos problemas.

Bien es cierto que la inteligencia artificial, con sus importantes aportaciones constituye una evidente esperanza. Sin embargo, será necesario “alimentarla” con nuevos hallazgos y dirigirla por caminos que limiten sus inconvenientes.

Desde hace un par de decenios estamos realizando esta labor en el seno de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras con resultados positivos en distintas esferas del conocimiento económico.

En muchos casos, los resultados solo son parcialmente logrados y se precisa colmar el vacío que ha quedado.

Esto es lo que acontece en el espacio temporal en el que nos encontramos, en relación con el **tratamiento de la incertidumbre** de los escenarios de futuro.

Nuestros trabajos para crear estructuras formales aptas para una mejor gestión económico-financiera nos llevaron a investigaciones en profundidad tal que nos exigieron contestar uno de los principios considerado inamovible durante caso dos milenios, el “principio del tercio excluso” o de no contradicción: una proposición es verdadera o falsa, pero no las dos cosas a la vez.

En el III Congreso SIGEF de Buenos Aires del 11-13 de noviembre de 1996, nos atrevimos a enunciar un nuevo principio al que llamamos “principio de simultaneidad gradual” que generalizaba el principio del tercio excluso: “Toda proposición puede ser verdadera y falsa a la vez a condición de asignar un grado o nivel a su verdad y un grado o nivel a su falsedad”.

Algunos de los hallazgos alcanzados antes de aquella fecha encontraron su acomodo en el nuevo principio, pero, lo más importante fue que, a partir y al amparo de él surgieron nuevos conceptos, singulares operadores, modelos y algoritmos que permitieron abrir originales y amplias perspectivas al estudio de la complejidad e incertidumbre económicas.

Entre las que más acomodo hallaron se encuentran los “Fuzzy Sets” de Lotfi Zadeh.²

Los profundos estudios y las obras publicadas sobre ellos, realizadas y publicadas por Arnold Kaufmann³ permitieron consolidar y expandir la gran idea de Zadeh.

La recibimos con los brazos abiertos, con la sensación, que luego se confirmó, de que algo grande estábamos viviendo ante un mundo, en el que “por la propia sabiduría de la naturaleza, por los caminos que nos conduce el progreso de la ciencia, por la variedad de nuestras opiniones, resultaba cada vez más difícil hacer previsiones, lo que prácticamente impedía permanecer en la seguridad de la certeza”⁴.

Y así va a seguir, cada vez más aceleradamente, a no ser que los humanos nos cansemos de soñar y de inventar, nos cansemos de servirnos de la maravillosa curiosidad que nos ha conducido a un hoy apasionante, mirando hacia un futuro.... Incierto.

² Zadeh, L.: “Fuzzy Sets”. Information and Control, 8 de junio de 1965.

³ A este respecto cabe citar su triología, con título general, Kaufmann, A.: “Introduction à la théorie des sous-ensembles flous”.

- “Elements théoriques de base” Ed. Masson. París 1973.

- « Applicatons à la linguistique, à la logique et à la sémantique » Ed. Masson. París 1975.

- « Applications à la clasifcation et à la reconnaissance des formes, aux automates, et aux systèmes, au choix des critères » Ed. Masson, París, 1975.

⁴ Kaufmann, A. y Gil Aluja, J.: “Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre”. Ed. Hispano Europea, Barcelona 1987, pág. 11 (ISBN. 84-255-0775-8)

¿Cómo hacer para que la incertidumbre sea menos incierta?, ¿cómo cerrar más el abanico de posibilidades? Fíjense bien: no estamos diciendo “eliminar la incertidumbre”, no expresamos “cerrar completamente el abanico”. Simplemente **reducir** la incertidumbre, **cerrar más** el abanico. Porque uno de los importantes axiomas que nos van a acompañar a partir de ahora será: “el éxito en la incertidumbre no se puede conseguir acertando, solo es posible acercarse a él equivocándonos poco”.

La idea de subconjunto borroso

Desearía poder utilizar un lenguaje no numérico para poder definir con precisión y solidez científica el concepto de subconjunto borroso, pero al tomar la pluma para hacerlo, me ocurre algo parecido a la reacción de San Agustín de Hipona ante la necesidad de definir el tiempo: “si alguien me pregunta qué es el tiempo, lo sé, pero si me preguntan y quiero explicarlo, ya no lo sé”.⁵

Me permito tomar otra vía, en aras a la didáctica, que inicio exponiendo esta idea de manera sencilla, sin pretensiones científicas, para pasar, luego, a utilizar un lenguaje matemático.

Así, pues, de manera esquemática se puede decir que un subconjunto borroso hace las funciones, a nuestros efectos, de un **descriptor de objetos físicos o mentales** (entre los primeros se incluirían humanos, objetos, ..., y entre los segundos ideas, sentimientos, ...) mediante unos criterios (características, cualidades y singularidades) que poseen en un grado o nivel de intensidad.

Pasemos a utilizar, seguidamente, un lenguaje matemático.

Para ello consideramos dos conjuntos referenciales $E_1 = \{P_i / i = 1, 2, \dots, m\}$, que representa objetos físicos o mentales y $E_2 = \{C_j /$

⁵ San Agustín de Hipona: “Confesiones”. Libro 11, Akal SA, Madrid 1986. Capítulo XIV (ISBN: 978-84-76- 000886)

$j=1,2,\dots,n\}$ que expresará los criterios (cualidades, características y singularidades) de un objeto físico o mental. Así como un subconjunto de E_1 del referencial de E_2 . En este caso se trataría de definir un conjunto de humanos E_1 , mediante el "grado" o "nivel" poseído de los criterios por cada humano.

Pasemos a ilustrar este planteamiento simplificado con un caso por nosotros estudiado. Se trataba de determinar el grado o nivel de incertidumbre de unos subconjuntos borrosos que describían a un conjunto de científicos.

Para una mejor visualización del problema se puede representar cada humano P_i , $i=1,2,\dots,m$, de la siguiente manera:

$$\begin{array}{c}
 C_1 \quad C_2 \quad C_3 \quad \dots \quad C_n \\
 P_i \sim = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline \mu_{i1} & \mu_{i2} & \mu_{i3} & \dots & \mu_{in} \\ \hline \end{array} \\
 i=1,2,\dots,m \\
 \mu_{ij} \in [0,1], \\
 i=1,2,\dots,m; \\
 j=1,2,\dots,n
 \end{array}$$

Es decir, que para cada uno de los humanos P_i / $i=1, 2, \dots, m$, se dispondría de una valoración⁶, μ_{ij} , del grado o nivel poseído de los criterios C_j / $j=1, 2, \dots, n$.

Se acostumbran a utilizar valuaciones en el segmento $[0, 1]$, incluyendo los extremos, separados por décimas. Las valuaciones para cada criterio estarían obtenidas del conjunto de valores $\{0, 0.1, 0.2, \dots, 0.9, 1\}$.

⁶ Designamos con el nombre "valuación" a toda asignación numérica subjetiva, mientras que denominamos "medida" a una asignación numérica objetiva.

Es evidente que para cada caso concreto se puede establecer un segmento y un conjunto distinto, si la realidad a estudiar así lo exigiera.

La primera consideración que cabe hacer sobre un subconjunto borroso o difuso en relación con un subconjunto booleano, en el que las medidas se hallan únicamente en el conjunto $\{0, 1\}$ (es decir: no posee o sí posee cada criterio) es que si bien es posible tratar este último mediante operadores propios de la certeza, no siempre sucede esto en la borrosidad. En cierto modo se podría decir que en un caso (booleano) existe un orden mental propio de la certeza y, en cambio, en el otro caso (borroso o difuso) la incertidumbre es consecuencia de un grado o nivel de desorden.

Se ha llegado, así, a un momento clave de nuestro relato: conocer la magnitud del desorden es una información de gran valor, a nuestros efectos, por cuanto un gran desorden comporta una elevada incertidumbre, en cuyo caso, la posibilidad de utilizar los instrumentos obtenidos en el estudio de realidades complejas es prácticamente nula.

De ahí nuestra decisión de emprender nuevas investigaciones que permitan hallar óptimos económicos con incertidumbre razonablemente reducida. Recurrimos para iniciar esta nueva labor al concepto de "playa de entropía".

Es bien conocido que se asocia, en economía, la noción de entropía con la "valuación del desorden".

Si se acepta esta premisa, es posible imaginar una playa en la que en un extremo se halla el orden absoluto y en el otro extremo el "no orden", es decir, el desorden total.

Pues bien, la mente de un humano se pasea a lo largo de su vida en esa playa, una veces pensando, decidiendo o actuando de manera más y otras veces menos racional, a la vez que menos o más "afectiva", por utilizar una palabra de tintes subjetivos.

Nuestros objetivos se han dirigido, durante muchos años, a reducir el espacio entre los extremos de la playa de entropía en que el humano pueda situarse. Es otra manera de decir que los estudios en el ámbito de la incertidumbre buscan que el pensador, decisor o ejecutor se “equivoque poco”.

Grado o nivel de desorden en un subconjunto borroso

No caeremos en la tentación de establecer una relación lineal entre **desorden** e **incertidumbre**. En cambio, sí proponemos aceptar que un aumento de uno da lugar a una mayor intensidad de la otra. Esto puede bastar para hallar un índice capaz de representar, aceptablemente, el “grado” o “nivel” de incertidumbre de un subconjunto borroso, a través de una ordenación de mayor a menor valuación de este índice.

Como es nuestra costumbre y en un intento de ser lo más rigurosos posible, vamos a anunciar el siguiente axioma: el “grado” o “nivel” de desorden de un subconjunto borroso que representa formalmente un objeto físico o mental puede ser cuantificado mediante medidas o valuaciones, a partir de su distancia con el orden expresado por el subconjunto booleano más cercano.

Trasladamos, así, el problema del grado o nivel de desorden de un subconjunto borroso a un problema de cálculo de la distancia entre un subconjunto **booleano** y un subconjunto **borroso**.

Se trata de aceptar que, cuanto más lejos nos hallemos del orden, mayor es el desorden de un subconjunto borroso que representa, formalmente, un objeto físico o mental.

Hasta aquí la descripción mediante un lenguaje que deseamos claro del procedimiento a seguir para establecer un orden de prioridad entre subconjuntos borrosos, en cuanto a su grado o nivel de menor a mayor incertidumbre.

La tarea a abordar, seguidamente, es asignar a cada tarea o fase los adecuados operadores y, así, convertir el “relato” en una sucesión de operaciones ligadas entre sí por los cálculos que lleven al objetivo buscado. Conocer, para compararlos, que subconjuntos borrosos preceden a los demás en la apreciación por su mejor desorden y, por tanto, su menor incertidumbre.

La cuantificación del grado o nivel de incertidumbre

En nuestro empeño en asignar un número al grado o nivel de incertidumbre, hemos aceptado una correspondencia directa entre desorden e incertidumbre, a la vez que se establecía que la valuación del desorden tomaba el nombre de **entropía económica**. Finalmente se proponía a efectos de “numerización” de la entropía una definición del desorden como **distancia** con el orden.

Es momento, pues, de establecer un o unos operadores para el cálculo de distancias, partiendo de la idea de “Fuzzy Sets” de Zadeh.

Para una mayor claridad expositiva, vamos a partir del supuesto de la existencia y conocimiento de dos subconjuntos borrosos, tales como A y B , en el bien entendido que razonamiento y operatoria son válidos para cualquier número finito de “Fuzzy Sub-Sets”:

$$\begin{array}{c} C_1 \quad C_2 \quad C_3 \quad \dots \quad C_n \\ \sim A = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline \mu_{a1} & \mu_{a2} & \mu_{a3} & \dots & \mu_{an} \\ \hline \end{array} \end{array}$$

$$\mu_{aj} \in [0,1],$$

$$j = 1,2, \dots, n$$

$$\begin{array}{c} C_1 \quad C_2 \quad C_3 \quad \dots \quad C_n \\ \sim B = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline \mu_{b1} & \mu_{b2} & \mu_{b3} & \dots & \mu_{bn} \\ \hline \end{array} \end{array}$$

$$\mu_{bj} \in [0,1],$$

Entre los operadores de distancia más utilizados en la investigación económica, vamos a considerar la distancia de Hamming, la distancia euclídea, así como la conocida función de Shannon⁷ de la que partieron De Luca y Termini para construir su índice de borrosidad.

Distancia de Hamming:

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sum_j |\mu_{\tilde{a}j} - \mu_{\tilde{b}j}|$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

Distancia euclídea:

$$d_e(\tilde{A}, \tilde{B}) = \left| \sum_j (\mu_{\tilde{a}j} - \mu_{\tilde{b}j})^2 \right|^{1/2}$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

Función de Shannon:

$$S(x) = -(x \cdot \ln(x) + (1 - x) \cdot \ln(1 - x)),$$

$$x \in [0, 1]$$

Para hallar un índice de borrosidad como grado o nivel de desorden, hemos sugerido calcular su distancia en relación con el subconjunto booleano más próximo. Procede, pues, conocer cuál es este conjunto booleano, que, en nuestro caso llamaremos:

⁷ Kaufmann, A. y Gil Aluja, J.: "Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre". Ed. Hispano Europea, Barcelona, 1987, pág. 98-100 (ISBN: 84-255-0775-8)

$\underline{\underline{A}}$ al más próximo de $\underline{\underline{A}}$

$\underline{\underline{B}}$ al más próximo de $\underline{\underline{B}}$

que se obtiene de la siguiente manera:

Para hallar $\underline{\underline{A}}$ se hace:

$$\mu_{\underline{\underline{a}}j} = 0, \text{ si } \mu_{\underline{\underline{a}}j} \leq 0.5$$

$$\mu_{\underline{\underline{a}}j} = 1, \text{ si } \mu_{\underline{\underline{a}}j} > 0.5$$

Y, también, para hallar $\underline{\underline{B}}$ se hace:

$$\mu_{\underline{\underline{b}}j} = 0, \text{ si } \mu_{\underline{\underline{b}}j} \leq 0.5$$

$$\mu_{\underline{\underline{b}}j} = 1, \text{ si } \mu_{\underline{\underline{b}}j} > 0.5$$

Disponemos, ya, de los operadores necesarios para iniciar los cálculos destinados a obtener las distancias entre cada subconjunto borroso y el subconjunto booleano más próximo. Habitualmente se escoge para ello el operador de distancias en **términos relativos**.

Las distancias relativas de Hamming son entonces:

$$V(\underline{\underline{A}}) = \frac{2}{n} \cdot d(\underline{\underline{A}}, \underline{\underline{A}}) = \frac{2}{n} \cdot \sum_j^n \left| \mu_{\underline{\underline{a}}j} - \mu_{\underline{\underline{a}}j} \right|, \quad n = \text{card. } E$$

$$V(\underline{\underline{B}}) = \frac{2}{n} \cdot d(\underline{\underline{B}}, \underline{\underline{B}}) = \frac{2}{n} \cdot \sum_j^n \left| \mu_{\underline{\underline{b}}j} - \mu_{\underline{\underline{b}}j} \right|, \quad n = \text{card. } E$$

Si el operador escogido parte, como proponen De Luca y Termini, de la función de Shannon, el índice de borrosidad será:

$$d(\tilde{A}) = -k \cdot \left(\sum_j^n \left| \mu_{\tilde{a}j} \cdot \ln \mu_{\tilde{a}j} + \mu_{\underline{a}j} \cdot \ln \mu_{\underline{a}j} \right| \right)$$

$$d(\tilde{B}) = -k \cdot \left(\sum_j^n \left| \mu_{\tilde{b}j} \cdot \ln \mu_{\tilde{b}j} + \mu_{\underline{b}j} \cdot \ln \mu_{\underline{b}j} \right| \right)$$

Se acostumbra a hacer:

$$k = \frac{1}{n \cdot \ln 2}$$

Y se tiene:

$$V_{\tilde{A}} = \frac{-1}{n \cdot \ln 2} \cdot \left(\sum_j^n \left| \mu_{\tilde{a}j} \cdot \ln \mu_{\tilde{a}j} + \mu_{\underline{a}j} \cdot \ln \mu_{\underline{a}j} \right| \right)$$

$$V_{\tilde{B}} = \frac{-1}{n \cdot \ln 2} \cdot \left(\sum_j^n \left| \mu_{\tilde{b}j} \cdot \ln \mu_{\tilde{b}j} + \mu_{\underline{b}j} \cdot \ln \mu_{\underline{b}j} \right| \right)$$

La valuación del desorden o entropía borrosa o si se quiere índice de borrosidad es habitualmente distinto según el operador utilizado. Sin embargo, la jerarquía u orden de mayor a menor desorden, o viceversa, no varía.

Todo cuanto hemos expuesto, siendo muy importante, no resuelve todos los escenarios que en el ámbito de la ciencia económica se pueden plantear.

En efecto, es habitual realizar operaciones con más de un subconjunto borroso y no siempre los grados o niveles de borrosidad, es decir, las correspondientes entropías, tienen la misma magnitud. Se plantea, entonces, el problema de **calcular la entropía del resultado** de la operación realizada.

Pasamos a establecer la amplitud de la entropía, grado o nivel de desorden y en definitiva, la incertidumbre del resultado hallado de la operación. Para ello, llamamos $v(\tilde{A} \vee \tilde{B})$ a la entropía global consecuencia del desorden inherente a cada subconjunto borroso $\tilde{A}$ y $\tilde{B}$.

Para obtener la valuación de la incertidumbre global después de la operación vamos a seguir lo indicado en las siguientes fases en el supuesto de utilizar, por ejemplo, la distancia de Hamming:

- a. Hallar la valuación del desorden existente en cada uno de los criterios para todos los objetos físicos o mentales. En nuestro caso A y B:

$$|\mu_{\tilde{a}j} - \mu_{\underline{a}j}| \quad , \quad j=1,2,\dots,n \quad , \quad n=\text{card } \tilde{A}$$

$$|\mu_{\tilde{b}j} - \mu_{\underline{b}j}| \quad , \quad j=1,2,\dots,n \quad , \quad n=\text{card } \tilde{B}$$

- b. Escoger el mayor de los desórdenes para cada uno de los criterios:

$$|\mu_{\tilde{a}j} - \mu_{\underline{a}j}| \vee |\mu_{\tilde{b}j} - \mu_{\underline{b}j}| \quad j=1,2,\dots,n \quad , \quad n=\text{card } \tilde{A}, \tilde{B}$$

- c. Obtener el desorden global mediante el operador adecuado a los distintos supuestos que la realidad puede plantear. En muchos casos suele ser suficiente una media simple del desorden de todos los criterios para reflejar este desarrollo global buscado:

$$\sum_j^n (|\mu_{\tilde{a}j} - \mu_{\underline{a}j}| \vee |\mu_{\tilde{b}j} - \mu_{\underline{b}j}|)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$n = \text{card } \tilde{A}, \tilde{B}$$

d. Multiplicar por 2 la media simple obtenida, ya que las distancias de las posiciones internas a los extremos del intervalo [0 , 1] se hallan a partir del centro del intervalo:

$$V(\tilde{A} \vee \tilde{B}) = \frac{2}{n} \cdot \sum_j^n \left(\left| \mu_{\tilde{a}j} - \mu_{\tilde{a}j} \right| \vee \left| \mu_{\tilde{b}j} - \mu_{\tilde{b}j} \right| \right)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$n = \text{card } \tilde{A}, \tilde{B}$$

Si se aceptan los axiomas establecidos, el esquema que se ha propuesto puede llevarnos a un buen índice de incertidumbre, expresando a partir de la idea de acercamiento de dos objetos físicos o mentales.

Finalmente, deseamos señalar que el procedimiento expuesto para dos objetos físicos o mentales es válido para ser utilizado, generalizándolo, para un número finito de subconjuntos borrosos que describen objetos físicos o mentales.

La correspondencia numérico-semántica

Deseamos llamar la atención del oyente/lector sobre un párrafo precedente de este trabajo, en el que se ha señalado: “convertir el **relato** en una **sucesión de operaciones** ligadas entre sí”, para posteriormente realizar los cálculos conducentes a las ordenaciones de los subconjuntos borrosos y conocer cuales de ellos preceden a los demás, según su índice de incertidumbre.

Y solicitamos su atención, como lo hicimos nosotros al escribir estas páginas, por cuanto en estas palabras se encuentra el germen de las investigaciones que nos llevaron a pensar en la posibilidad de una buena gestión, sin necesidad de recurrir a una **operativa numérica** que, a fin de cuentas, en muchos casos nos iba a llevar a un resultado sin utilidad por su elevada incertidumbre.

De estas investigaciones nació lo que después se llamaría: **matemática no numérica para la incertidumbre**.

Ahora, la relación numérica-semántica ya juega un importante papel en la creación de una matemática en la que el **protagonismo** al que estamos acostumbrados a encontrar en el **número** deja paso al **lenguaje habitual** en nuestras relaciones sociales y económicas.

Precisamos el término protagonismo, teniendo en cuenta que en las investigaciones “no numéricas” los números tienen también su lugar, como lo tienen los símbolos, los trazos, los paréntesis, etc.. En cambio sí sufren importantes restricciones los operadores numéricos, de tal manera que algunos desaparecen, otros se modifican, así como también surgen otros nuevos.

La clave del cambio tiene lugar con el establecimiento de una tabla de correspondencias numérico-semánticas de las posiciones en las que se puede situar el pensamiento, la decisión o la acción a lo largo de la playa de entropía.

Como hemos señalado, es habitual expresar el grado o nivel de incertidumbre, en el ámbito numérico, por un intervalo de confianza $[0, 1]$, en el sentido de que, dada una proposición, esta es aceptada en un grado o nivel de verdad mediante un número comprendido entre cero y uno, incluyendo también los extremos 0 y 1.

También la misma proposición es aceptada en un determinado grado o nivel de verdad mediante palabras del **lenguaje habitual**.

Pues, bien, si se establece una correspondencia entre los números y las palabras, de tal manera que, a un número superior a otro se le asigna una expresión de la que se “entienda” un grado o nivel superior de verdad, habremos construido una “escala semántica”.

A lo largo de los últimos decenios, hemos utilizado en nuestros trabajos⁸ varias tablas semánticas, además de la binaria, propia de la lógica booleana:

0 : falso (no verdadero)

1 : verdadero

Entre ellas destaca, por su operatividad, la escala semántica en-decadaria (**ende** del griego **once**), que podría ser la siguiente:

0 : falso

0.1 : prácticamente falso

0.2: muy falso

0.3: bastante falso

0.4: más falso que verdadero

0.5: tan falso como verdadero

0.6 : más verdadero que falso

0.7: bastante verdadero

0.8: muy verdadero

0.9: prácticamente verdadero

1: verdadero

⁸ Gil Aluja, J.: "Introducción de la teoría de la incertidumbre en la gestión de las empresas". Ed. Milladoiro, Vigo 2002, pág. 36-37 (ISBN: 84-931-229-4-7)

Se pueden elaborar una práctica infinidad de escalas semánticas. Entre las más simples destaca la binaria $\{0,1\}$, la ternaria $\{0, 0.5, 1\}$, la pentaria $\{0, 0.25, 0.50, 0.75, 1\}, \dots$. Se acostumbra a utilizar escalas con un número impar de componentes con objeto de disponer, en todo caso, de un valor central, cual es el 0.5. Resulta evidente que si resulta conveniente una mayor matización se puede recurrir a escalas con mayor número de elementos. Basta, para ello, con ir colocando cifras intermedias entre los decimales de la escala endecadaria. Se ponen, así, en evidencia las grandes posibilidades que la multivalencia ofrece para coadyuvar al tratamiento de la amplia gama de problemas que la compleja realidad plantea, acercándonos, así, a la consecución de aquella vieja aspiración de reproducir formalmente los ricos matices del pensamiento humano.

Las escalas semánticas han constituido y continuarán constituyendo una imprescindible ayuda en el proyecto ya iniciado de llevar a cabo el gran cambio epistemológico de la investigación económica.

Su importancia nos exige prestar una especial atención en su elaboración.

Es en este sentido que pedimos retomar la palabra **entender** de este mismo epígrafe, aludiendo a la necesidad de un lenguaje **claro**.

El reto del lenguaje claro en economía

El lenguaje claro que constituye una necesidad en cualquier ámbito de la vida social adquiere un interés esencial en la vida docente e investigadora en general, pero sobre todo en la creación y estudio de la ciencia económica.

En efecto, a las razones que se podrían esgrimir en cualquier campo del saber, cabe añadir algunas que le son propias, tal

como: su característica de ciencia joven, por tanto necesitada de nuevas palabras **claras** para designar nuevos hechos y fenómenos; la escasez de trabajos básicos o de especialización en idioma español, lo que implica, con demasiada frecuencia, traducciones “poco claras”: ... para solo citar dos de ellas.

El espacio científico en el que estamos trabajando, nos ofrece, además, otros argumentos, no menos importantes.

Al referirnos a la elaboración de una escala numérico-semántica, hemos señalado la necesidad de que las palabras que tengan una correspondencia con un número en $[0, 1]$ deben ser extraídas del **lenguaje habitual**, aquel que sirve para la comunicación entre la ciudadanía más próxima, como mínimo, pero, de ser factible, de la que reside en la más amplia zona de contactos económicos y sociales. El óptimo se encontraría en el nivel mundial.

Sin embargo, esto no es todo. Adivinarán que más imprescindible es que el lenguaje sea claro, entendible para aquellos a los cuales va destinado el mensaje, el informe, el estudio, las normas de comportamiento, etc...

Complejo planteamiento, difícil gestión, ardua tarea, . Difícil de llevar a cabo por un investigador o por un grupo limitado de investigadores.

Pero, el milagro se produjo.

Tuvimos ocasión en las mensuales reuniones de la Junta Rectora del Instituto de España de hablar sobre el tema con el Excmo. Sr. Santiago Muñoz Machado, Director de la Real Academia Española y Presidente de la Asociación de Academias de la Lengua Española.

El Sr. Muñoz Machado nos informó que desde hacía algunos años eran conscientes del problema. Tanto es así que se constituyó oficialmente, el 9 de junio de 2022, una Red Panhispánica

de Lenguaje Claro, impulsado por la Real Academia Española en Santiago de Chile, en un acto solemne celebrado en la Corte Suprema de Justicia de la República de Chile.

Posteriormente, el pasado 30 de abril de 2024, recibimos una carta en la que el Excmo. Sr. Muñoz Machado exponía en relación con la Red, lo siguiente:⁹

Su propósito esencial es fomentar el lenguaje claro y accesible como fundamento de los valores democráticos y de ciudadanía, así como promover el compromiso de las autoridades y de las entidades que prestan servicios de interés general para asegurarlo en todos los ámbitos. Desde entonces, se han adherido las corporaciones de la Asociación de Academias de la Lengua Española (ASALE), la Secretaría General Iberoamericana (SEGIB), la Cumbre Judicial Iberoamericana, la Conferencia de Ministros de Justicia de los Países Iberoamericanos (COMJIB), la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), la Organización Iberoamericana de Seguridad Social (OISS), el Tribunal Supremo y el Consejo General del Poder Judicial de España, varias Cortes Supremas americanas, la Fiscalía General del Estado, el Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes, los presidentes de diversas Comunidades Autónomas y el Defensor del Pueblo de España, así como las redes nacionales de Lenguaje Claro de Chile, Colombia, Uruguay y Ecuador, Academias, universidades y colegios profesionales, además de numerosas instituciones o entidades públicas y privadas de distintos países hispanohablantes.

La Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras que me honro presidir fue invitada a formalizar su inscripción, cosa que hizo de inmediato. Actualmente nuestra Real Corporación se halla formalmente incorporada a la citada Red Panhispánica.

⁹ Muñoz Machado, S.: “Fundamentos del Lenguaje Claro”. Ed. Planeta, Barcelona 2024, pág. 123-132 (ISBN: 978-84-670-7503-8)

A nuestro entender el papel de la Real Corporación en la Red puede adquirir un alto valor, tanto para las instituciones de los países hispanos integrados, como para la propia Academia.

En efecto, conocido es que la actividad investigadora de la RACEF es muy potente en el espacio de la ciencia en el que se halla instalada de manera preferente. La Escuela de Economía Humanista de Barcelona es un ejemplo revelador, ante la necesidad de crear nuevas palabras, sean conceptuales, técnicas, operadores o teorías. Las instituciones de la Red pueden ser entonces de gran valía.

Como miembro de la Red Panhispánica de Lenguaje Claro, la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, al asumir el reto de reconocer el derecho fundamental de todos los humanos a comprender, aceptó complacida, el compromiso de colaborar en la tarea común de promover el lenguaje claro y accesible, tanto en sus funciones públicas como privadas, empezando por los órganos de nuestra Real Corporación como son el Observatorio Económico- Financiero, la "Barcelona Economics Network" y la "Escuela de Economía Humanista de Barcelona".

Por el momento hemos empezado, ya, a participar cuando han aparecido las oportunidades de colaboración que la red ofrece.

Operadores semánticos para las decisiones económicas

Cada nuevo encuentro, cada nuevo trabajo, daba lugar a un nuevo punto de luz en nuestro andar hacia una ciencia humanista.

Pero fue en nuestra obra "Elements for a Theory of Decision in Uncertainty"¹⁰ cuando se llega a un estadio de no retorno para el futuro de las investigaciones humanistas en economía: la de la llamada matemática no numérica de la incertidumbre.

¹⁰ Gil Aluja, J.: "Elements for a Theory of Decision in Uncertainty". Kluwer Academic Publish., Dordrecht , 1999 (ISBN:0-7923-5987-9)

En efecto, hasta el final del siglo XX, el tratamiento de los problemas económicos en un contexto de incertidumbre y subjetividad, eran abordados con la utilización de un tipo de subconjunto borroso cuyo referencial estaba formado por números reales, concretamente, mediante **números borrosos**.

La primera gran novedad había llegado, dando paso a la llamada “Nueva teoría de la incertidumbre”. Los resultados fueron excelentes. Sin embargo, no nos sentíamos completamente satisfechos por cuanto quedaban, todavía, esferas en las que no era suficiente esta solución.

Hemos insistido en repetidas ocasiones, que en la incertidumbre, resulta difícil, cuando no imposible obtener resultados exactos, con valores precisos. Pero tampoco tiene utilidad para la adopción de decisiones, saber que una magnitud económica (beneficio, coste, ...) se encontrará, en el futuro, entre dos cotas muy distantes la una de la otra.

Fue entonces cuando pensamos que podría ser interesante buscar la manera de adoptar decisiones sin que el concepto de número fuera esencial. Los números serían unos símbolos utilizables como otros se emplean en las matemáticas que nos han enseñado no susceptibles de ser utilizadas con operadores de la matemática de la certeza y en la del azar.

En este intento, encontramos unos conceptos que, debidamente formulados, podían resolver cualquiera de los problemas económicos y sociales que se pudieran plantear. Estos conceptos son: **incidencia, agrupación, asignación y ordenación**.

La tarea inmediata que se nos presentaba era la de hallar unos operadores no numéricos asumibles y eficaces para lograr el objetivo buscado. Así se adoptaron: el operador de distancias, el operador de composición o convolución max-min, ... Los resultados de estos hallazgos fueron vertidos en la obra publicada por Kluwer que acabamos de citar.

En ella, se expone nuestro trabajo en el que, a partir de las definiciones de estos cuatro conceptos generales se exponen los operadores a utilizar en cada uno de ellos, recorriendo por los senderos conocidos, tales como la pretopología, generalización de la topología, la teoría de grafos, la teoría reticular y otros aspectos que conforman los estudios combinatorios. Veamos de manera breve el sentido de estos conceptos:

1. **Relación de incidencia:** los estudios que habitualmente tratan los problemas de incidencia tienen su base en la lógica booleana, con la existencia o no de una relación de este tipo. El tránsito de pasar de la existencia o no existencia de una relación a establecer el nivel o grado de la misma nos aconsejó recurrir a las lógicas multivalentes. La relación o matriz borrosa de relaciones de incidencia adquiere entonces el mayor protagonismo.
2. **Asignación:** el planteamiento del problema de asignación parte de la existencia de tres conjuntos finitos de objetos físicos o mentales. El primero comprende los elementos a asignar, el segundo los elementos que reciben la asignación y el tercero los criterios en base a los cuales tienen lugar la adscripción de los primeros a los segundos.
3. **Agrupación:** los procesos de agrupación o formación de grupos cuyos elementos son homogéneos entre sí, forman un conglomerado de elementos que en forma matricial son tratados a partir de la noción de afinidad, ya utilizada en trabajos anteriores, junto con el añorado profesor Arnold Kaufmann. El tránsito de las relaciones de semejanza a las relaciones de similitud, es básico en el proceso de agrupación.
4. **Ordenación:** el concepto de orden asume en la matemática no numérica de la incertidumbre el protagonismo que en el campo numérico tienen técnicas tales como las que propician la maximización de la productividad, utilidad, rentabilidad, economicidad, para solo hablar de algunas de ellas. Para el

desenvolvimiento de los procedimientos de ordenación, recurrimos, con frecuencia, a la presentación de las informaciones disponibles mediante la teoría de grafos. Son de utilidad a este respecto el concepto de “grafo no fuertemente conexo” y el de camino elemental de un grafo, entre otros.

Incidencia, asignación, agrupación y ordenación son, entonces, vocablos que con la matemática no numérica de la incertidumbre, han sobrepasado su mera significación lingüística para devenir elementos básicos de la nueva ciencia económica humanista.

De esta actividad investigadora han nacido nuevas teorías y ha tenido lugar la generalización de otras existentes. Citaremos entre ellas:

A. La teoría de los efectos olvidados. Nace a partir de una idea de Ramón LLull (1235-1315) y tiene su soporte en el concepto y estructuras de la **relación**.

A partir de un conjunto de relaciones de incidencia entre los elementos de un conjunto entre sí, de los elementos de otro conjunto también entre sí y de los elementos del primer conjunto con los del segundo, se forma una red global de relaciones tan grande que es prácticamente imposible que no se produzcan olvidos. Mediante algoritmos basados en esta teoría se recuperan todos los efectos de segunda y generaciones posteriores, sin error ni omisión. No existen entonces efectos olvidados.

B. La teoría de la afinidades constituye una construcción en forma de teoría de las relaciones de similitud, las cuales permiten ser formalizadas a través de matrices rectangulares y ser representadas mediante estructuras reticulares.

C. La teoría de los expertones, tiene como antecedente próximo la obra ya citada que publicamos en 1993 junto con el

profesor Kaufmann¹¹. Pretendíamos con ese trabajo dar una solución al problema de la subjetividad en las opiniones emitidas por los expertos. El trabajo llevaba incorporados unos nuevos elementos teóricos y técnicos que permitieron, posteriormente, un cambio profundo en el tratamiento de los problemas de agregación. La teoría formulada con este soporte ha permitido realizar operaciones no lineales con los datos agregados.

Gracias a la flexibilidad y adaptabilidad de los Fuzzy Sets hemos avanzado en nuestro propósito de incorporar a los estudios de gestión la **idea darwiniana** con sus componentes de asimetría e irreversibilidad.

Los Algoritmos en la investigación humanista

Desde hace algunos años el interés por los algoritmos ha sido tan grande que ha dado la impresión de tratarse de un descubrimiento reciente, como si el matemático persa del Siglo VIII, su creador, Mohammed Ibn Musa Al-Khwarizni, no hubiera existido.

A lo largo de varios decenios hemos estado trabajando con algoritmos con los medios teóricos y técnico, evidentemente, que la ciencia ponía a nuestra disposición en cada momento.

La estructura básica de estos procedimientos de cálculo, creada inicialmente, fue evolucionando, sin perder el sentido originario inicial, desde un mecanicismo radical hasta un humanismo, por nosotros proclamado y tan buscado en la investigación económica. La Inteligencia Artificial ha hecho el resto.

Como hemos repetido, tantas veces, la subjetividad ha constituido desde siempre la barrera que parecía infranqueable hasta

¹¹ Kaufmann, A. y Gil aluja, J.: "Técnicas especiales para la gestión de expertos". Ed. Milladoiro, Vigo, 1993. (ISBN: 84-404-36-57-2)

que la revolución digital, el “big data” y el transhumanismo ha venido en su ayuda.

Durante muchos años hemos estado trabajando con algoritmos, tanto es así que nuestra Tesis Doctoral para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Barcelona (U.B.), presentada el 21 de septiembre de 1964, contenía un algoritmo, con utilización de “máquinas electrónicas”, del momento.

Nuestra experiencia investigadora, junto con la lucidez y apertura de ventanas a los nuevos tiempos nos permitieron publicar una obra con una joven catedrática de la Universidad de Barcelona de contenido humanista, sobre el tratamiento económico de la complejidad¹².

Previa a la nueva conceptualización y presentación de los operadores susceptibles de ser utilizados en los distintos procedimientos, se establecían las fases o etapas necesarias para alcanzar los objetivos buscados, caso de ser viable, recurriendo, en primer lugar, a la matemática numérica de la incertidumbre, para pasar en segunda instancia a la “no numérica”, si ello no fuera necesario.

Con la matemática “no numérica” revivimos, de nuevo, las ilusiones de construir nuevas estructuras lógicas del pensamiento apartadas de la línea mecanicista habitual para situarlos en la tan buscada vía humanista.

Si así fuera, no nos cabe duda alguna de que nos hallamos en puertas de uno de los cambios más profundos que jamás hayan acontecido en toda la historia de la ciencia económica.

¹² Este trabajo se publicó en primer lugar en lengua española: Gil Aluja, J. y Gil Lafuente, A. M.: “Algoritmos para el tratamiento de fenómenos económicos complejos. Bases, desarrollos y aplicaciones” Ed. Ramón Areces, 2007 (ISBN: 978-84-8004-787-6). Posteriormente fue publicado en inglés: Gil Aluja, J. y Gil Lafuente, A. M.: “Towards an Advanced Modelling of Complex Economic Phenomenal” Ed. Springer, Berlín 2012. (ISBN: 978-3-642-24811-5).

En el Legado Biográfico para la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras¹³ señalamos las siguientes premisas, más que conclusiones, para llegar a resultados válidos:

Primera: una realidad con cambios profundos y direcciones difícilmente predeterminables es de difícil cuantificación (incertidumbre).

Segunda: la digitalización se impondrá irremisiblemente por sus ventajas pero existe el riesgo de que el humano se sitúe al servicio de la máquina.

Tercera: la formación rígida carece de futuro por lo que el porvenir consistirá en la formación permanente de carácter flexible y adaptativo.

Cuarta: las “verdades absolutas” dejarán paso a las “relativas” por cuanto en la complejidad y en la incertidumbre el pensamiento y las decisiones económicas contienen siempre un grado o nivel de razón y un grado o nivel de emoción.

Quinta: las técnicas económicas mecanicistas utilizadas habitualmente no han conseguido formalizar las realidades complejas de ahí la necesidad de incorporar los operadores del humanismo en la ciencia económica.

Sexta: las investigaciones económicas huyen de la subjetividad por la dificultad de operar numéricamente con ella. La distinción entre medida “asignación numérica objetiva” y valuación “asignación numérica subjetiva” con operadores distintos para la una que para la otra, es una base para la futura ciencia económica.

¹³ Gil Aluja, J.: “La vida es una estrategia de suma nula” Ed. RACEF, Barcelona 2024, pág. 170 (ISBN: 978- 84-09-59874-8)

Son unos buenos puntos de partida para una investigación futura de los sistemas económicos complejos e inciertos que se vislumbran en el horizonte.

Gracias, muchas gracias.

