

SECCIÓN SEGUNDA: ECONÓMICO-CONTABLE Y FINANCIERA



Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

**UN ENSAYO HUMANISTA
PARA LA FORMALIZACIÓN ECONÓMICA.
BASES Y APLICACIONES**

Presentación

Dr. Finn Kydland



*Real Academia
de Ciencias Económicas y Financieras*

UN ENSAYO HUMANISTA PARA LA FORMALIZACIÓN
ECONÓMICA. BASES Y APLICACIONES

La realización de esta publicación
ha sido posible gracias a



con la colaboración de



Obra Social "la Caixa"

con el patrocinio de



UN ENSAYO HUMANISTA PARA LA FORMALIZACIÓN
ECONÓMICA. BASES Y APLICACIONES

Jaime Gil Aluja
Fernando Casado Juan
Anna Maria Gil-Lafuente
Finn Kydland
Arturo Rodríguez Castellanos
Ramón Poch Torres

Presentación:
Dr. Finn Kydland

Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Sección Segunda

Un ensayo humanista para la formalización económica. Bases y aplicaciones / Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras.

Bibliografía

ISBN- 978-84-09-14366-5

I.I. Título II. Gil Aluja, Jaime III. Colección

1. Economía 2. Humanismo 3. Economía de la incertidumbre

LC65

La Academia no se hace responsable de las opiniones expuestas en sus propias publicaciones.

(Art. 41 del Reglamento)

Editora: ©2019 Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona.
www.racef.es

Académica Coordinadora: Dra. Anna Maria Gil-Lafuente

ISBN-: 978-84-09-14366-5

Depósito legal: B 20842-2019

Esta publicación no puede ser reproducida, ni total ni parcialmente, sin permiso previo, por escrito de la editora. Reservados todos los derechos.

Impreso y encuadernado en España por Ediciones Gráficas Rey, S.L.—c/Albert Einstein, 54 C/B, Nave 12-14-15
Cornellà de Llobregat—Barcelona

Primera impresión Septiembre 2019



Esta publicación ha sido impresa en papel ecológico ECF libre de cloro elemental, para mitigar el impacto medioambiental

**REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
ECONÓMICAS Y FINANCIERAS**

Índice

Presentación Dr. Finn Kydland	11
-------------------------------------	----

APORTACIONES ACADÉMICAS

Dr. Jaime Gil Aluja El humanismo en la ciencia económica. Lo humano y poshumano en el futuro de la sociedad.....	17
Dr. Jaime Gil Aluja El humanismo en la ciencia económica. Del mecanicismo al humanismo en la ciencia económica.....	41
Dr. Fernando Casado Juan Escuelas de Lógica Borrosa – Fuzzy Economics’ Schools	67
Dra. Anna Maria Gil-Lafuente La adopción de decisiones en entornos inciertos	113
Dr. Finn Kydland Does Policy Consistency Affect Economic Growth?.....	177
Dr. Arturo Rodríguez Castellanos Hacia un nuevo humanismo empresarial: Organización y personas.....	201
Dr. Ramón Poch Torres La empresa-riesgo: Del (pos)modernismo al (trans)humanismo.....	265
Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras.....	289

PRESENTACIÓN

DR. FINN KYDLAND

Presidente de Honor del Observatorio de Investigación Económico-Financiera

I welcome from these lines with hope the publication of the 2019 Book of II Sección of the Royal Academy of Economic and Financial Sciences (RACEF) chaired by Jaime Gil Aluja, since it is a valuable instrument for a better understanding of our discipline and a valuable tool for researchers as well as for investors and policy makers.

Part of my research on Economic Models and Economic Growth shows that countries and their economic systems generate wealth as long as that they are able to offer the investors stable prospects -what we call predictability- in the behavior of their institutions and social agents.

And, as an economist and president of the RACEF Observatory of International Economics, I would like to thank the authors of this work which contributes to a more just and livable world.

Finn Kydland

*Honorary President of the Observatory of Economic and Financial
Research of the
Royal Academy of Economic and Financial Sciences of Spain
Nobel Prize in Economics*

APORTACIONES ACADÉMICAS

EL HUMANISMO EN LA CIENCIA ECONÓMICA
Lo humano y lo poshumano en el futuro de la sociedad

DR. JAIME GIL ALUJA
Presidente Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Lo humano

Situar la ciencia económica dentro de la idea humanista comporta una reflexión previa sobre el sentido de lo humano y sobre la inserción del humano en el cuerpo social. Cuerpo social en el que la economía actúa, agita, dirime, excita, modera,... verbos que llevan unas veces a la creación otras a la destrucción.

Pero han tenido que transcurrir muchos, muchísimos años, siglos, milenios para que un grupo formado por Académicos de la Sección Segunda de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras nos reuniéramos para pensar sobre lo humano y lo trashumano y su incidencia en la ciencia económica.

Permítanme que sacuda sus conciencias haciendo que este viejo profesor haga volar la imaginación.

Y, para hacerlo, les pido aquella indulgencia que me permita reproducir unos párrafos de mi alocución con motivo de la presentación del XII Acto Internacional de Barcelona, el 16 de noviembre de 2017.

“Imaginemos la tierra, el planeta que pisamos ahora mismo, justo antes de que surgiera la vida hace 3.500 millones de años”.

“Solo es una roca enorme girando sobre sí misma en el universo y alrededor de otras rocas gigantescas, sin sentido... vacías”.

“La vida, surgida de una casualidad, de una causalidad o de una incidencia ha ido cubriendo aquella roca vacía de signos y símbolos cada vez más complejos”.

“Y, desde hace dos millones de años, un primate que trasciende los límites de su propia especie, el humano, se constituye en el motor que ha ido acelerando este proceso”.

“El ser humano ha sido sobre todo un “homo signus” porque ha generado redes de razón y emoción cada vez más complejas. Ha sido un “homo sapiens” y, ahora, camina hacia su conversión en “homo deus”, un ser poshumano que huye de los límites de su especie apoyado por la “ingeniería genética”.

“Avanzamos en este trayecto por una senda evolutiva no lineal ni de regular cadencia, que empieza con el Cromagnon en la adoración de lo próximo, con el elemental nivel de abstracción de los cultos animistas, que proyectan la capacidad simbólica de los humanos en lo más inmediato.”

“Y adoran a la fuente, al árbol, a la cueva. Son los primeros vértices de un retículo de sentimientos que va dotando al humano de un poder que ningún otro ser vivo ha tenido”.

“Si así es ¿por qué es así? ¿Dónde está la fuente de ese poder? ¿cuál puede llegar a ser el poder emanado de esta fuente? Los santos y sus cuevas santas no son verdades pero existen. No son realidades palpables como una piedra o un árbol pero tampoco son una mentira. Son lo que llamamos **realidades intersubjetivas**. Existen en la medida que los humanos creemos en ellas, y solo para los que creemos en ellas.”

La singladura que ha seguido la evolución del humano la ha hecho de manera diferente a los demás seres vivos, poseedores ellos de habilidades diferentes,... casi siempre.

Y decimos casi siempre por cuanto nos llegan episodios acaecidos a lo largo de la historia que invitan cuanto menos a meditar. Veamos uno de ellos que ha quedado registrado en los textos universitarios.

“Hans the Kluger” (Hans el listo) era un caballo. En realidad era el caballo más listo del mundo. En la Alemania de 1904 congregaba mul-

titudes que pagaban encantadas una entrada para verle solucionar problemas matemáticos.

Su dueño le preguntaba, Hans ¿Cuánto es dos más uno? Y el caballo golpeaba tres veces con sus cascos el suelo. Al tercer golpe, el público entusiasta, y por aquel entonces mayoritariamente analfabeto, ya estaba aplaudiendo al animal.

Le continuaba preguntando entonces cuanto eran dos más dos; tres más tres; y premiaba su talento aritmético con zanahorias, manzanas y azucarillos que engullía con deleitación.

Además del más listo, Hans se convirtió en el equino más querido de Alemania, cuando empezó a responder a preguntas aritméticas más difíciles. Cuando dio una contestación correcta a una multiplicación, un veterinario quiso examinarle para descubrir el truco, pero solo pudo constatar el buen estado de su dentadura.

Varios zoólogos, veterinarios y biólogos le sometieron a todo tipo de pruebas, incluida la de medición craneal. Pero Hans era en todo un caballo como los demás. Entonces se le separó del dueño por si era éste quien le inducía las respuestas. Pero Hans seguía demostrando su “inteligencia” matemática. Hasta que en 1907, cuando el dueño de Hans ya se había hecho rico, el psicólogo Oskar Pfungst halló el truco. El truco era que no había truco alguno.

Hans había aprendido a leer las reacciones de los humanos cuando daba golpes en el suelo.

Si le preguntaban cuanto era cuatro por tres, no es que entendiera la pregunta, pero si sabía por los rostros de los humanos que le rodeaban y las emociones que transmitían que esperaban que empezara a patear.

Entonces pateaba y hacia una pausa tras cada patada para ver si el público confiaba en que diera otra o no.

Lo que sabía Hans, en definitiva, era advertir, leer, el ánimo de su auditorio. Y si había expresiones de júbilo, risas o aplausos, lo que sucedía cuando llegaba a doce patadas, se detenía.

El caballo sabía percibir las emociones humanas mucho mejor que la mayoría de nuestros congéneres.

No es único este caso de habilidades de los no humanos. Si Hans era un gran psicólogo, los chimpancés, por ejemplo, planifican sin cesar sus acciones. Tienen una “danza de la lluvia” que sería un magnífico ejemplo de proto oración religiosa, según el primatólogo Franz de Waal.

Muy curiosa es la manera en que los córvidos coordinan sus acciones para, por ejemplo, dejar caer nueces desde lo alto del cable telefónico al piso de una carretera justo antes de que pase un camión.

Los primates, además, lanzan objetos con precisión y poseen organizaciones jerárquicas con un alto grado de complejidad.

Ha llegado el momento de preguntarnos ¿Qué hace que seamos nosotros quienes conducimos a Hans y no al revés? ¿Por qué los monos lanzan piedras a sus enemigos y nosotros misiles nucleares? ¿Qué diferencia hay entre un chimpancé enjaulado en el zoo y su humano que lo vigila?

Pues que el humano se cree un montón de realidades que no son ni objetivas como una piedra ni subjetivas como el dolor que siente solo quien recibe la pedrada, sino **intersubjetivas**. Entre ellas la moral, las costumbres, las leyes, ..., y el dinero, por ejemplo.

Lo que nos convierte en dueños del universo es que como creemos en estas cosas que no existen mantenemos un tipo especial de **cooperación**.

Es esa manera de **cooperar**, no la habilidad, la destreza, la memoria y ni siquiera la inteligencia de algunos humanos la que nos hace progresar como especie.

Fruto de esta **cooperación** es la continua creación de **redes** de razón y sentimiento, cada vez más conexas entre sí, más densas, más complejas.

El humano en sociedad

En un principio esta cooperación tenía lugar en espacios geográficos reducidos, poco relacionados entre sí. Con los siglos los contactos, los movimientos se intensifican y las relaciones se van extendiendo. Las redes son simples, pero poco a poco devienen retículos cuya complejidad parece no tener límites. Hoy se está hablando ya, para un futuro casi inmediato, de una **red universal**, independiente de cualquier espacio físico.

Pero el humano se halla asentado en espacios físicos. En espacios que constituyen tierras de paso o tierras de acogida. Se trata, estos últimos, de espacios geográficos, después geopolíticos, en donde quienes a ellos llegan no pueden evitar su poder de atracción.

En muchos casos, la confluencia de la hospitalidad de los allí asentados unido a una esperanza de mejorar sus vidas vence toda tendencia al éxodo.

Se trata de espacios en los que sucesivas olas de inmigraciones han dado como resultado muchos siglos de mestizaje.

Surge entonces una cualidad que se puede convertir, alternativamente, en virtud o en defecto: la **convivencia**.

La convivencia “armónica”, palabra esta tan querida por el profesor Dídac Ramírez, de grupos humanos de origen distinto, de diferentes razas y creencias permite que pueblos con costumbres y hábitos muy diferentes sean capaces de cooperar en aras del progreso social y económico, en un contexto de creciente complejidad.

Cooperar es también solidaridad. Pero, si se desea que perdure realmente la cooperación solidaria debe ir acompañada de **vivencias**, de vivencias en diálogo.

El diálogo en vivencia presupone, así mismo, un ambiente en libertad. La idea de libertad ha formado parte, desde hace siglos, del pensamiento social de nuestros pueblos. Pero también se ha hecho y se está haciendo un uso pernicioso de esta luminosa palabra.

En los últimos años, se han instalado nuevas maneras de concebir la convivencia que están cercenando los espacios habituales de diálogo. La ausencia de diálogo está llevando a nuestra sociedad por un derrotero peligroso: el aislacionismo.

Las culturas emanadas de la síntesis de lo bíblico y lo griego han ido sobreviviendo, hasta hoy, a todos los vaivenes de la historia de nuestro Continente.

Pero, ahora, con una increíble cadencia, están surgiendo movimientos que fuerzan nuestra convivencia al sobrepasar los límites de las libertades que tan costosamente hemos conseguido, con el consiguiente ambiente propicio a los dogmatismos, y a los fundamentalismos. Se está cambiando, así, de sentido la **generación** para convertirla en **degeneración**.

Desde sus primeros pasos el humanismo ha propiciado el **conocimiento**. Estaba establecido que la sabiduría absoluta era patrimonio exclusivo de la divinidad y la ignorancia era consustancial con lo humano. Pero Dios en su infinita bondad y misericordia ha ido cediendo poco a poco parcelas del saber a los humanos.

El humanismo, pues, acoge el conocimiento y lo mece en la cuna de las culturas para protegerlo de los desvaríos de la irreflexión. El conocimiento toma conciencia de su propia ignorancia en el pensamiento socrático, de indudable inspiración bíblica. Se consolida, así, lo que más tarde sería la idea de lo humano como centro del universo.

Es en la Italia renacentista cuando el humanismo abre sus primeras luces. Los humanistas del “quattrocento” y del “cinquecento”, aún cuando no rechazan el orden divino van acelerando el desplazamiento del centro del universo desde Dios al Hombre.

Esa transición, representada por Miguel Ángel en la capilla Sixtina, constituye, hoy, la esencia del mundo por las culturas que nos son propias. El hombre es, desde entonces, y al menos hasta ahora, la medida de todas las cosas, las haya creado quien las haya creado.

Antes del Renacimiento los habitantes de lo que hoy es Europa no se sentían capaces de juzgar lo que era bueno o malo, bello o feo. Sólo la divinidad y sus representantes en la tierra poseían esa capacidad. A ellos sólo les quedaba acatarla en espera de un divino premio o castigo.

El sentido humanista cree en la Humanidad que se vencerá a sí misma. Ya no espera que Dios de sentido al Universo sino que seamos los humanos quienes extraigamos de nuestro interior no solo las respuestas a las preguntas sobre la existencia sino cualquier explicación de todo cuanto se introduce en nuestro pensamiento.

El arte, la pintura, la música o la poesía ya no dependen de la inspiración divina, sino de los sentimientos humanos. Por eso el amor entre las personas sustituye al mandato divino de multiplicaros. Vamos dejando, así, la obediencia y empezando a usar la reflexión.

De manera casi imperceptible vamos pasando de mirar al cielo a adoptar nosotros mismos todas las decisiones. Cada vez más buscamos las respuestas en nuestro interior.

Paralelamente, la educación deja de ser el vehículo de aprendizaje de la palabra divina para devenir el centro de enseñanza a los humanos a pensar por sí mismos.

La sociedad como sistema

Esto ha hecho que los humanos estemos convirtiendo nuestra vida en sociedad en un sistema repleto de cadenas de incidencias movidas por la razón y por los sentimientos volviéndose, así, más complejas, más sofisticadas, más borrosas, pero también por ello más inteligentes.

Sin embargo la representación y tratamiento de estas complejas y cambiantes realidades mediante métodos y algoritmos no ha alcanzado el deseado éxito hasta ahora. Su percepción sólo ha dado lugar a investigaciones que consideramos de una simplificación excesiva.

Como es conocido, en todo sistema tiene lugar un conjunto de interrelaciones que se acostumbran a explicar mediante relaciones binarias de causalidad. Nos equivocamos cuando así lo aceptamos.

Cometemos un grave error cuando separamos los conjuntos humanos en sociedad entre buenos y malos. Y también erramos cuando lo hacemos con ideas tales como amor o desamor, eterno o efímero, sabiduría o ignorancia, placer o dolor.

Es cierto que pueden existir hechos, sensaciones, fenómenos en definitiva, situados en los extremos y por tanto tratables con lo binario, pero son casos particulares de una formulación general.

Porque en realidad los objetos de estudio son hechos, sensaciones, fenómenos de manifestación multivalente y, por tanto, sujetos a un grado o nivel de intensidad.

Esta intensidad la hemos expresado semánticamente con frases de sentido contrario la una de la otra: mayor amor menor desamor; mayor sabiduría menor ignorancia y cuantificadas asignando a cada frase una valoración en $[0, 1]$. En otras palabras: sabio y a la vez ignorante sí, a condición de asignar un nivel o grado a su sabiduría y un nivel o grado a su ignorancia, de manera que cuando el nivel del uno aumenta el del otro disminuye.

Cuanto acabamos de señalar evita utilizar la práctica tan común de plantear las interconexiones reticulares como relaciones binarias de causalidad, situadas en el estrecho espacio de las formulaciones mecanicistas. En ellas se separa al humano en dos y se estudia únicamente su componente de racionalidad, dejando en el olvido su importante componente de emotividad.

La cuestión que se presenta bajo este planteamiento es dónde se halla la salida a este problema. La respuesta se encuentra, así lo creemos, en la utilización de **relaciones de incidencia**, capaces de tratar adecuadamente sistemas complejos e inciertos.

Una vez más nos vemos impelidos a recurrir a las lógicas multivalentes que permiten **matizar** la importancia de lo objetivo para compararlo con el correspondiente componente de subjetividad.

El concepto de **verdad absoluta** pierde, así, protagonismo para dejar paso al relativismo inherente a la noción de **grado** o **nivel**.

Aunque podríamos parafrasear a Nietzsche diciendo que la “verdad económica absoluta ha muerto”, no nos es posible aceptar esta posición extrema. Creemos que nos acercamos mejor al fondo de este pensamiento cuando aceptamos que la **verdad** y la **no verdad** son casos particulares tan radicales que no se encuentran en las realidades actuales, repitémoslo una vez más, complejas e inciertas.

Insistimos, pues, en decir que hoy el núcleo de convivencia humana continúa siendo, básicamente, el que heredamos del Renacimiento. Antes las guerras, por ejemplo, eran consideradas un castigo divino. Con el Renacimiento se incrusta la idea de que sólo son consecuencia de actos humanos imputables también a los humanos que mueren en ellas. Queda así justificado el **pacifismo humanista**.

Seguimos estando en el centro del Universo y dando la medida de todas las cosas, cuyo origen y sentido buscamos en nuestro interior.

En ese contexto parece lícito preguntarse sobre la posibilidad de convivencia entre grupos o entre subsistemas sociales. Y yendo un poco más lejos, si tiene sentido referirla a un espacio físico: Cataluña, España o Europa, por ejemplo, o bien, si en un mundo “pequeño”, superconectado informacionalmente hablando, es ya necesario hablar de un espacio mental, desligado por tanto de un territorio, es decir hablar de un **espacio virtual**.

No es posible dar por definitivo algo que es por su propia naturaleza perentorio. Así, la armonía es un concepto que comporta también el de **caducidad**. La inevitable evolución de los “sistemas” vivos está movida por incidencias cruzadas entre elementos de un mismo sistema, pero también entre los de uno y otro u otros sistemas.

De ahí que vuelva a ocupar una plaza de privilegio la diferenciación de estabilidad e inestabilidad del equilibrio.

Si se considera, aún cuando sea formalmente, una situación de equilibrio entre sistemas sociales en un determinado momento, el simple paso del tiempo o la intervención de elementos externos (o internos) a los propios sistemas tiende a provocar, en un universo rápidamente cambiante, desequilibrios entre ellos, al ganar fuerza unos en detrimento de otros.

Llegados a este punto debemos confesarles que nos hemos rendido a la tentación de compartir con ustedes algunos pensamientos surgidos al amparo de una creciente línea investigadora que cada vez se halla más asentada en los centros de estudio de la élite científica mundial.

Algunas reflexiones al hilo del recuerdo

La presencia del humanismo en este principio de siglo permite destacar, a nuestro entender, algunos aspectos que sin duda van a ser de importante ayuda para dirigir la mirada hacia un futuro horizonte lejano.

Esta mirada es permanente en la ciencia económica por cuanto no puede compartir únicamente espacios temporales inmediatos, como es habitual en otros ámbitos de la intelectualidad social. El buen periodismo, por ejemplo, realiza esta tarea magníficamente. Pero para elaborar políticas económicas, estrategias decisionales, establecer modelos, crear algoritmos útiles, ..., es preciso que la ciencia de hoy preceda a los acontecimientos de mañana.

No es fácil mirar a la lejanía en la dirección precisa. Pero en la incertidumbre no es imprescindible acertar, como hemos reiterado tantas veces, **basta con equivocarse poco.**

Se trata en tantas y tantas ocasiones de aprovechar los pocos recursos que la evolución pone a nuestro alcance y hacer uso de las habilidades que la naturaleza nos ha proporcionado. Y cuando se perciben pun-

tos de luz en la lejanía buscar la construcción de grandes avenidas allí donde sólo existen simples pedregales.

Continuamos, pues, mirando al cielo como nuestros antepasados, pero de manera diferente. Cada vez más los ojos miran a nuestros semejantes. En esta andadura tomamos consciencia de que no hay creencia sin consecuencia, no hay símbolo sin referente, ni fe sin obligaciones. Es el permanente temor a la primera gran explosión de sentido de la historia de la humanidad. Es también el rechazo a seguir la senda que nos transformó en súbditos obedientes.

Y, de la misma manera que nació la escritura para suplir la falta de memoria de los tecnócratas mesopotámicos. Y sucedió que luego la utilizaran los egipcios para gestionar los templos, los tributos, los graneros y los ejércitos, ocurre hoy que aún la emplean los funcionarios de los Estados y administradores de las multinacionales para la gestión económico-financiera

El templo de Osiris no es muy diferente de Google o del Ländler de Baviera. Es un símbolo, una marca, Osiris, Google o Baviera. Una mentira real, en fin, o una **realidad intersubjetiva**, que por serlo, sólo existe en la medida que nos la creemos.

Esas metarealidades tienen, sin embargo, un ciclo vital. Osiris ya no consigue que la gente trabaje y sacrifique incluso sus vidas por ella. En cambio, hoy la “marca” es la recién nacida Google, la divinidad más poderosa del planeta para muchos. La que más grande posee los graneros, que en la terminología actual vendría a ser la empresa con el mayor poder bursátil del mundo.

No es casualidad, entonces, que Google también sea hoy una especie, de nueva “religión”, el espacio físico y mental en donde radica un nuevo culto. Un cambio más en el devenir de nuestras vivencias en sociedad.

Y al hilo de estas reflexiones, recordemos, una vez más, que el centro de las religiones animistas estuvo en África, el de las teocracias en el Oriente Próximo, donde también nació la escritura y el Estado, y el de las humanistas, con el paso del judaísmo al cristianismo que llegó a Europa a través de los judíos traductores del hebreo al griego en Alejandría. Primero llegó a Roma y después con el Renacimiento a todas las capitales europeas con el triunfo humanista.

San Pablo, el converso, convirtió la religión patriarcal y monolítica, monoteísta y tribal del judaísmo arcaico, en un culto moderno abierto a todos los profanos y definitivamente concebido para las necesidades del continente europeo. Roma lo hizo suyo y así nos llega vigente a la Unión Europea, indudable heredera del imperio latino.

Hoy, el mundo está dominado por el sueño compartido en la democracia liberal, los derechos humanos y las relaciones económicas reguladas por el estado del bienestar. Pero también por el temor de que la capacidad de elegir de cada uno de nosotros puede estar **amenazada**.

Vivimos con temor ante los actos violentos y mortíferos del **islamismo radical**. Y nos preguntamos si es ésta realmente la gran amenaza al humanismo europeo. Perdónenme si me atrevo a sugerir que no.

Los coletazos terroristas son, creemos, un revulsivo detestable y cruel que nos recuerda que somos seres humanos que han conquistado su autonomía después de siglos de sometimiento a una deidad única y a su jerarquía eclesial. Seres humanos en permanente búsqueda de un mayor y mejor bienestar.

Porque el proceso productivo puede funcionar, avanzar, competir sin libertad, si se quiere; en cambio no pueden hacerlo los centros de investigación. La libertad es el más preciado oxígeno del cerebro humano.

La apuesta por la libertad y la democracia ha permitido alcanzar un bienestar que ha hecho posible el progreso científico y técnico.

Estos breves retazos pueden tener un sentido mirando al futuro, si éste se concibe como una proyección lineal del pasado. Pero esta linealidad no existe. El camino que nos espera está llevando a nuestras sociedades por una senda de difíciles previsiones. Los cambios son hoy, ya, rápidos y profundos, pero lo serán más todavía en tiempos venideros.

Nos podemos preguntar, ahora, cual es la reacción de los humanos ante estos cambios.

Quizás la respuesta inmediata puede venir de la mano de la **evolución**. Dos cuestiones previas.

La primera para recordar que la posición de los 4 elementos de la cadena del ADN, citosina, timina, adenina y guanina, van determinando la expresión de nuestros genes.

La segunda, para señalar que compartimos una gran cantidad de genes con otras razas. Solo el 1% de la configuración de estos 4 elementos es lo que nos distingue de un chimpancé, por ejemplo, y este porcentaje es aún menor entre las diferentes etnias. Y como hemos señalado en varios de nuestros trabajos, la diferencia entre humanos de etnias distintas es menor, en muchos casos, que la existente entre humanos de la misma etnia.

Son precisamente estas diferencias las que permiten la supervivencia humana.

La diversidad genética hace que siempre hayan algunos humanos capaces de adaptarse a estas mutaciones del medio.

Pero como el medio va cambiando, las características que permiten su adaptación son distintas en cada etapa.

De esta manera el humano mejor adaptable cambia de una etapa a otra. Así, pues, no existe el humano perfecto y es gracias a esta imperfección que la humanidad ha sobrevivido.

Los cambios debidos a la evolución son **lentos** por su propia naturaleza, y, por tanto, son sólo parte de los que afectan a nuestra convivencia.

¿De dónde proviene, entonces, esta amenaza al humanismo europeo liberal instalado en una sociedad del bienestar?

Una primera respuesta la podemos hallar en el inadecuado uso de los avances tecnológicos. Es su utilización para fines no lícitos la que puede impedir nuestra capacidad de elegir libremente.

Una breve referencia al trashumanismo

Nadie puede sorprenderse de nuestra respuesta si se tiene en cuenta el importante giro que está tomando el cambio tecnológico desde el trabajo esencialmente humano al robot autónomo, y de este a unos seres mezcla de hombre y máquina. Y no sólo en sus cuerpos, sino también en sus cerebros. Parece que nos hallamos en puertas de un nuevo sistema social: el **poshumanismo**.

El poshumanismo es una de las consecuencias del progreso de la ciencia resultado de una revolución cibergenética muy alejado del que tendría lugar mediante un proceso de naturaleza lineal. Y ello es así por cuanto su transformación es, en gran parte, extraña al desarrollo muy lento de la evolución.

No debe producir extrañeza, entonces, si la llamada inteligencia artificial está ya abriendo las puertas a una nueva realidad pseudohumana, con el alto riesgo de que el poder mundial pase a una élite de seres “mejorados”. Los humanos podríamos quedar entonces reducidos a estructuras biológicamente simples, mejoradas técnicamente sí, pero mecanicistas al fin.

Expulsado el humanismo de nuestro pensamiento, podríamos quedar transformados en cuerpos biomecánicos preparados para la inserción de algoritmos y sus correspondientes operadores en espera de la recepción de datos e informaciones para su tratamiento.

Cuatro párrafos, los anteriores, podrían ser suficientes para plantear un nuevo futuro cargado de interrogantes y quizás para algunos de esperanzas. Esperanzas para quienes los sentidos y extremidades de sus cuerpos son considerados débiles, o bien limitados por los incidentes acaecidos a lo largo de sus vidas.

En realidad hace ya muchos años que los implantes mecánicos han ayudado a mejorar la vida de los humanos. Yendo hacia un extremo en el razonamiento podríamos decir que desde hace muchos decenios: lentes para recuperar parte de la visión, refuerzos dentales, prótesis de cadera, piernas ortopédicas, marcapasos, todo ello para recuperar facultades perdidas o reducidas.

Sin ir más lejos, a mediados del mes de marzo 2018, los medios de comunicación divulgaron la noticia del diseño de implantes de grafeno para captar en la superficie del cerebro las señales de los centros del habla para transmitir las a un sintetizador de voz externo y en él ser decodificadas y reproducidas en forma de voz.

El objetivo inmediato sería conseguir la recuperación de la palabra a personas que han perdido la capacidad de articular hasta las frases

más elementales, como es el caso de las personas con esclerosis lateral amiotrófica, consecuencia de una enfermedad neurodegenerativa.

Pero este será solo el primer paso. A partir de este hallazgo y del tránsito del pensamiento en palabra una inmediata tarea se impone: preservar el uso por terceros de uno y otra.

Paralelamente a los avances en las distintas áreas de la neurobiología y del trashumanismo, la legislación y la jurisprudencia deben jugar un papel de anticipación a los posibles abusos. Es hora de preparar la lucha contra el delito antes de que éste aparezca.

Pero el trashumanismo va mucho más lejos: se refiere al uso de las tecnologías más avanzadas para potenciar las capacidades humanas hasta convertirnos en los llamados “ciborgs” (organismos cibernéticos)¹ Se trata en definitiva, como afirma el Profesor Yuval N. Harari, de sustituir o acelerar la selección natural promovida por la evolución por el “diseño inteligente” mediante la utilización de chips, cables, antenas, silicio, ese material que el cuerpo humano no rechaza.

Los experimentos más conocidos, situados entre la recuperación de facultades perdidas y la potenciación de las existentes en los humanos han permitido ya, en algunos casos, sustituir una manera habitual de percibir un sentido por otra distinta, como el caso de la ceguera, que tanto nos recuerda el poema de Joaquín M^a Bartrina (1850-1880)² en el que pregunta a un ciego de nacimiento que es el color rojo, cómo lo siente. La respuesta es una premonición:

“Pienso que será, sin duda,
como el olor de la ruda,
como el gusto del gazpacho,

1 Clynes, Manfred E. y Kline, Nathan S.: Cyborgs and Space. Astronautics, Septiembre 1960.

2 Bartrina, J.M.: “Algo”. Ed. Llibreria Central, Barcelona, 10^a edición, 1935, pág. 89-90.

como horno de fuego lleno,
como pisar un abrojo,
y aún creo que será rojo,
el estampido del trueno”

El poeta termina con la sensación intranquila de la relatividad de las emociones:

¡para cuántas sensaciones
soy ciego de nacimiento!

Hoy para algunos ciborgs se pretende una interactuación entre distintos órganos del cuerpo humano a través de implantes. En el poema de Bartrina, a mediados del Siglo XIX, la imaginación constituía la base de un conocimiento sustitutivo.

Bartrina, considerado por mucho el “abuelo” del **futurismo** en la Vanguardia Española, impregnó sus obras de una lucha entre la razón y sentimiento, que nuestros trabajos de investigación han querido conceptualizar y desarrollar, lógica y matemáticamente para su utilización en el ámbito de las ciencias sociales en general y en el de la economía y finanzas en particular.

Es bien cierto que se está progresando de manera acelerada en varias direcciones y en la utilización de tecnologías diferentes y últimamente incluso complementadas. Pero donde más se centra la atención, a la vez que la preocupación, es en el cerebro, más incluso que en la monitorización de la circulación sanguínea y funcionamiento del corazón.

No ocultamos nuestra preocupación por el uso no deseado de los implantes y otras modificaciones cibernéticas en el cerebro. Porque a partir de aquí ¿será posible la conexión entre varios humanos a través

de un **cerebro central**? Y, más importante todavía ¿será posible incidir en los humanos ciberbiológicos a partir de órdenes emanadas del cerebro central?

Nuestra preocupación aumenta ante el peligro de que a la potente investigación en trashumanismo se una otra corriente no menos poderosa como el “dataismo”.

Una inmensa nube de datos

La genética y la evolución, siempre en constante interacción luchan mediante la adaptación para la permanencia en el cambio. La evolución condiciona las decisiones humanas y éstas, motoras de la acción, inciden en el proceso evolutivo.

Pero, ¿qué es la tecnología sino un instrumento de adaptación al medio? Lo que sucede es que no lo es por vía genética sino cultural. Téngase en cuenta que estamos hablando de **adaptación**, no de **progreso** o de **bienestar**. Ambos pueden ser o no un efecto de ella.

Girando la vista a atrás emergen de entre nuestros recuerdos algunos ejemplos que inducen, cuanto menos, a una meditación.

La agricultura no hizo más fácil la vida de nuestros antepasados ni mejoró su entorno, ni, contra algunas opiniones, les permitió una mayor calidad de vida. Evidentemente, la existencia, fruto de una permanente compensación, encontró otras ventajas.

Lo explican con precisión los paleoantropólogos en Atapuerca que señalan que los fósiles de nuestros ancestros revelan unas vidas con menos enfermedades **antes** que después de la agricultura. Parece que disfrutaban de mayor bienestar como cazadores-recolectores que como agricultores.

Nos podemos preguntar, entonces: ¿por qué cambiaron el arco y las flechas con la libertad gozosa de la caza por la esclavitud del arado?, ¿por qué ahora nosotros estamos cambiando la libre disposición del teléfono fijo por la sujeción, la esclavitud casi, del móvil? Sencillamente porque a ellos no les quedaba ni a nosotros nos queda más remedio.

La especie progresaba porque solo si cultivaba la tierra podía hacer frente a sus necesidades. Ahora, únicamente si multiplicamos nuestra actividad por minuto sobreviviremos en un espacio mundializado con frenéticos cambios.

Una vez arados los campos ya no hubo marcha atrás. Una vez mecanizados los procesos de producción tampoco lo ha habido,... pero a costa de una agresión al medioambiente.

Otra etapa, a la que seguirá otra, y otra, y otra,... No me atrevo a asegurar que nos encontremos ya en la próxima, pero me temo que una vez introducido el móvil en nuestras vidas, y todo cuanto lleva aparejado como punta de lanza de la digitalización de nuestra existencia, ya no es posible la vuelta atrás.

Estamos atrapados, para lo bueno y para lo malo, para siempre en la hiperconexión obligada. ¿Están mejorando con ella nuestras vidas?, ¿conseguimos una mejor calidad en nuestra andadura vital?, ¿acaso esta “conexión de soledades” que nos ha traído la sociedad digital nos comunica mejor que nuestros encuentros en cafés, calles y plazas?, ¿podemos pensar, quizás, que estar ligados en veinte grupos de whatsapp nos hace ser más queridos, tener mejores amigos?

No sabemos si estas preguntas tienen respuestas fiables y generalizables. Pero sí sabemos ahora, cada vez más, que se va interponiendo con creciente fuerza la revolución tecnológica. Cada vez toma más fuerza la convicción de que los conocimientos son más determinantes que los genes en la conducta de los humanos.

Y en este encadenamiento está apareciendo un elemento que puede provocar una ruptura en el devenir del humano en sociedad: la información.

Por las redes de información que cubren nuestro universo recorre un inmenso caudal de datos. Datos que no mueren, se acumulan en una nube que puede adoptar la forma de un gran y potente “ordenador central”.

Los humanos, desde nuestra más tierna edad somos quienes alimentamos los depósitos de datos. Tanto es así, que el flujo de datos está ya sustituyendo al flujo del tiempo como medida. El flujo de datos, reales o imaginados, se halla omnipresente y cada vez más es considerado omnisciente.

Los dataistas se afanan día y noche en alimentar el flujo de información introduciendo sus y nuestras vidas en Facebook, Instagram y todas las redes sociales que se han creado y se crearán. Hoy, Google ya lo sabe todo sobre usted, usted y usted. Para conseguirlo le ha bastado con cruzar un flujo de datos con otro y otro.

Se ha popularizado la llamada “registra, sabe, comparte la información”. Es una manera de utilizarla para integrar a todos los humanos en el flujo universal de datos.

Vemos constantemente a los humanos transitar por calles y plazas acompañados o en grupo. Observamos que no hablan entre sí. Cada uno de ellos teclea su propio móvil. El diálogo personal se va empobreciendo en beneficio del “diálogo digital”.

Los “sacerdotes” del dataismo nos conducen al suministro y lectura de informaciones con procedimientos quizás distintos a los utilizados en tiempos pasados para la fidelización de los feligreses a las iglesias. El objetivo que se promete es entender el universo y el objetivo que buscan es que nos integremos en él convertidos en conjuntos de datos utilizables en un algoritmo total.

Será entonces cuando aquel caudal de razón y sentimiento que fluirá en aquellas redes, con las que los propios humanos habremos cubierto el planeta para dominarlo, nos habrá engullido definitivamente. Desaparecerá la individualidad como riqueza humanista porque todos quedaremos integrados en la nube general de datos.

Como contrapartida la divinidad del dataísmo será tan generosa que nos hará a todos eternos formando parte del conjunto total de datos. Pero será como una parte del todo, no como organismo individualizado, porque se formarán mezclas de información. Estas mezclas de información emanadas de la voluntad del cerebro universal sustituirán las ahora surgidas de nuestros razonamientos.

Volvemos a plantearnos, una vez más, la más importante de las preguntas: si se borran las diferencias entre vida orgánica y vida mecánica ¿qué quedará de lo que somos?

Permítanme que aventure, aunque sea burda, una posible respuesta.

Seremos nuestros recuerdos. Son ellos quienes conforman una personalidad única, porque es única la memoria de un humano... todavía.

Pero, qué es la memoria sino el conjunto de informaciones almacenadas, el conjunto de datos que nos confiere identidad.

Bibliografía citada

- Clynes, Manfred E. y Kline Natham S.: "Cyborgs and Space". Astronautics. Septiembre 1960.
- Bartrina, J. M.: "Algo". Ed. Librería Central. Barcelona, 10ª edición. 1935, págs. 89-90.

EL HUMANISMO EN LA CIENCIA ECONÓMICA
Del mecanicismo al humanismo en la ciencia económica

DR. JAIME GIL ALUJA
Presidente Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

Los amores efímeros entre realidad social y ciencia

Tanto ayer como hoy y hoy como siempre, ha sido necesario hablar del mañana. De este mañana que antes se vislumbraba lejano y hoy se halla justo delante de nuestros ojos.

En efecto, los acontecimientos transcurren velozmente. La sociedad y los fenómenos que en ella suceden cambian rápidamente y en sentidos no fácilmente predecibles. Y en no pocas ocasiones radicalmente indeterminables.

Mirando hacia el futuro se intuye una sociedad inmersa en un contexto de complejidad, cada vez más envuelta en un velo de incertidumbre. Fuerzas difícilmente controlables parecen alejarnos, cada vez más, del deseado humanismo.

Los sistemas económicos no son una excepción. A todos cuantos nos invaden las inquietudes sociales no podemos por más que preguntarnos cuál será la sociedad que vamos a legar a las futuras generaciones. Y, a lo que a nosotros nos concierne, qué cuerpo científico hay que transmitir para ayudarles a vivir en un mundo mejor.

Entonces, si esa inquietud es pertinente desde una perspectiva general, lo es aún más en la económica. Nuestra responsabilidad resulta, por ello, mucho mayor. A todos nos atañe una profunda reflexión. Y ello, sea cual fuere el área de conocimiento en la que estemos comprometidos.

Creemos que recientes acontecimientos avalan cuanto estamos afirmando.

La pasada crisis del 2008 ha tenido, entre otros, dos efectos directos y muchos de segunda generación. Sobre la recuperación de los efectos

no perceptibles fácilmente hemos elaborado la Teoría de los Efectos Olvidados¹.

El primero de los efectos ha sido un aumento de la desigualdad social, con una reducción drástica de la llamada “clase media”. Quizás haya más ricos pero lo que sí existen son muchos más pobres que antes.

Ha sucedido exactamente lo contrario de lo que pretenden, sean teñidas del color que sean, las políticas económicas de todos los países: la mayor uniformidad posible entre los ciudadanos dentro de un sistema económico. Es decir una mejor “distribución de la renta”, un mayor progreso compartido.

El segundo ha sido la irrupción en no pocos Estados de grupos “antisistema”. Conocidos son, entre otros, los grupos “Podemos” en España y “Rassemblement National” de Marine Le Pen en Francia, para citar solo dos de ellos.

Estas agrupaciones tienen como objetivo provocar un desorden de carácter profundo y duradero, capaz de romper la débil “estructura de equilibrio social” existente en su país. Evidentemente pretenden crear otras estructuras que sirvan a sus intereses ideológicos.

Ante esta evolución o revolución que estamos viviendo ¿qué puede hacer la ciencia económica? ¿Puede dirigir estos fenómenos hacia nuevas cotas de bienestar? ¿Qué camino entre los existentes nos propondrá seguir? ¿Qué nuevas estrategias nos aconsejará adoptar? ¿Cómo conseguir una menor distancia entre los distintos grupos sociales? ¿Qué decisiones hay que adoptar para que la “nueva sociedad” surgida de sucesivos desórdenes sea cada vez más justa, más libre y más solidaria?

¹ Kaufmann, A. y Gil Aluja, J. ”Modelos para la investigación de efectos olvidados” Ed. Milladoiro. Santiago de Compostela, 1998.

Dar respuesta a estas preguntas no es fácil en un trabajo como el que hemos realizado. Vamos a limitarnos a unos breves apuntes. Vamos a conformarnos con unas primeras respuestas. Si con ello conseguimos crear un cierto interés, si con ello conseguimos transmitir una positiva inquietud, nos daremos por muy satisfechos.

Una advertencia previa del académico de nuestra Real Corporación, la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, Joseph Stiglitz²: “Politics have shaped the market and shaped it in ways that advantage the top at the expense of the rest”

Las raíces del estudio de la ciencia económica

El ser humano, al igual que las demás especies vivientes, se mueve en un ambiente incierto. Sin embargo, siempre ha buscado atenuar los efectos de la incertidumbre. Este esfuerzo se filtra, también, al campo científico, y ha quedado plasmada en investigaciones que se apoyan en la matemática de la certeza y en la del azar.

Una necesaria puntualización previa. En no pocas esferas del conocimiento se identifican, con demasiada frecuencia, **azar e incertidumbre**. Hoy sabemos que se trata de conceptos diferentes. El azar posee leyes y se halla ligado al término probabilidad, que es una medida sobre observaciones repetibles. Hasta hace poco, la incertidumbre no poseía leyes. Aún hoy no es susceptible de “medida” (asignación numérica objetiva), sino de “valuación” (estimación numérica subjetiva).

No nos cansaremos de repetir que la ciencia económica se halla sustentada desde sus inicios, entre 1880 y 1914, en una matemática mecanicista. Esta matemática recoge, en principio, muchos aspectos de

² Stiglitz, J.: “Separate and Unequaly. The Price of Unequality” New York Times, 2 agosto 2012. También reproducido en su obra “The Price of Unequality” W.W. Norton and Company, 2012.

la mecánica de Lagrange (1736-1813). El paralelismo entre las “leyes de la naturaleza” y las “leyes económicas” es incuestionable.

Las dificultades para utilizar la matemática mecanicista en el tratamiento de una fenomenología compleja no tienen por qué invalidar los hallazgos de la revolución científica de los siglos XVI y XVII. Los nombres de Nicolás Copérnico (1473-1543), Galileo Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630) e Isaac Newton (1642-1727) constituyen un ejemplo de cuanto hemos manifestado. Recordemos que las leyes de Newton significaron una profunda renovación del conocimiento. Pero no tuvo lugar el olvido de cuanto se había aprendido del pasado.

En este sentido cabe citar, aún cuando sea someramente, las aportaciones en los siglos XVII y XVIII, de Pierre de Fermat (1601-1665), Leonhard Euler (1707-1783), el ya citado Louis de Lagrange y a finales del siglo XVIII e inicios del XIX, Pierre Simon Laplace (1749-1827).

En ningún caso, a lo largo de estos siglos, tuvo lugar la creación de una potente estructura matemática apta para el tratamiento de la incertidumbre.

Ni siquiera las investigaciones realizadas a las postrimerías del siglo XIX e inicios del siglo XX por James Clerk Maxwell (1831-1879), Josiah Willard Gibbs (1839-1903) y Ludwing Boltzmann (1844-1906), entre otros, lograron aportar los elementos necesarios para el tratamiento de la complejidad. Sus intentos a partir de “leyes” probabilistas, tan en boga en aquellos momentos, resultaron vanos.

El determinismo impregnaba la ciencia económica con la utilización de la matemática de la certeza y también la del azar. Esta ha sido una de las causas del rechazo de modelos y algoritmos que la ciencia económica ha propuesto durante tanto tiempo. Subyacía una tensión entre la creación del conocimiento económico y el **ideal humanista** de libertad.

Esta tensión fue en aumento y se intensificó a partir de mediados del pasado siglo XX. Valgan un par de referencias a título de ejemplo.

La primera de ellas se debe a William James³ quien en su trabajo “El dilema del determinismo” ponía en evidencia la contradicción entre **elección libre** y **relación de causalidad**.

La segunda está extraída de una obra de Karl Popper⁴ en la que señala que “todo acontecimiento puede ser predicho o explicado”. Con ello parece mostrar una cierta adhesión al determinismo. Sin embargo, en otro pasaje de su obra afirma que “el sentido común atribuye a las personas sanas y adultas la capacidad de elegir libremente entre varios caminos”. Con estas palabras parece manifestar un cierto distanciamiento del mecanicismo.

Creemos llegado el momento de exponer nuestro criterio sobre los elementos teóricos y técnicos que han manifestado su interés por dar solución al tratamiento de la complejidad y de la incertidumbre.

A lo largo de muchos siglos, las investigaciones sociales se han centrado en la consideración de una sociedad simplificada. El transcurso del tiempo comporta en ella una evolución lineal. Era frecuente, entonces, la elaboración de modelos y algoritmos de carácter reversible.

El estudio de los procesos económicos y empresariales ha seguido el mismo camino. Es decir, ha recurrido, también, a la lógica formal y a las matemáticas deterministas.

La disociación entre la realidad compleja e incierta y los elementos formales creados para su tratamiento, simples e ideales, ha desencadenado la alarma en la intelectualidad más avanzada.

3 James, W.: “The Dilema of Determinism” en *The Will to Believe*. Ed. Dower, New York, 1956.

4 Popper, K.: “L’univers irrésolu. Plaidoyer pour l’indeterminisme” Ed. Hermann. París 1984, pág. XV.

A este respecto deseamos destacar tres líneas de investigación: la termodinámica y en particular la noción de entropía, la teoría del caos y la teoría de los subconjuntos borrosos.

Respuesta de la termodinámica a la complejidad económica: la entropía

El concepto de **entropía** se incorpora a los estudios de física como consecuencia de los trabajos de Rudolf I. E. Clausius (1822-1888)⁵. Su objetivo era representar el grado o nivel de uniformidad de la energía existente en un sistema.

Consideramos, por nuestra parte, que en el ámbito de la ciencia económica se puede aceptar como entropía la uniformidad en las “magnitudes económicas”, entre ellas, a título de ejemplo, podemos mencionar el “nivel de renta” existente en las capas sociales de un país.

Si así lo aceptamos, el término **energía** de la física adopta en economía el de **potencial** en un sistema económico. Diremos, pues, que “un sistema social posee un potencial económico que no es uniforme”⁶

Como siempre sucede cuando tiene lugar una adaptación de términos o esquemas de un campo a otro de la ciencia, surgen algunos (o muchos en ciertos casos) condicionantes que han de ser resueltos.

- 1.- El segundo principio de la termodinámica establece que “la entropía aumenta con el tiempo”. La traslación de este principio a la renta nacional en economía por ejemplo significaría la existencia de un proceso que lleva inexorablemente a hacer uniforme el nivel de renta de los ciudadanos dentro de un sistema económico.

⁵ Clausius, R. I. E.: Ann Phis, CXXV, 1886.

⁶ Gil Aluja, J.: »Apprendre “versus” copier. L'apprentissage en Sciences Sociales”. Conferencia pronunciada con motivo del coloquio internacional « Penser L'Europe » Texto publicado, Bucarest, 2016.

Sabemos que no siempre sucede así. Y ello por varias razones. Entre ellas destacamos las dos siguientes: la distinta consideración de los componentes del índice de nivel de renta y la aparición de “fuerzas” aparentemente ajenas al sistema económico considerado.

En relación con los componentes del índice de nivel de renta creemos bastará un sencillo ejemplo para aceptar cuanto decimos.

Hace pocos años, una **familia** que poseyera coche y teléfono se consideraba “rica”. Es decir, disfrutaba de un alto nivel de vida. Hoy **un humano** que no tenga “por lo menos” un coche y un móvil se cree un marginado. En otras palabras, considera ínfimo su nivel de renta.

En lo que se refiere a la irrupción en un sistema de fenómenos aparentemente ajenos se pueden incluir todos aquellos que tienen lugar por contagio.

La reciente crisis económica del 2008 puede ser un acontecimiento revelador. Cuando los “expertos” preveían una corta duración, en un encuentro en Barcelona con el Premio Nobel y Académico de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, Eric Maskin, coincidimos en trabajos independientes que el inicio de la recuperación tendría lugar en el 2017. Y esto, sobre todo, por contagio de los sistemas que dejaron de impulsar el progreso de las “economías avanzadas”.

2.- En física se afirma que “a medida que aumenta el desorden de los átomos crece la entropía” Veámoslo a través de un conocido ejemplo.

Supongamos la existencia de un conjunto uniforme de átomos distribuido en uniformidad perfecta. Imaginemos que **todos ellos** se mueven de la misma manera hacia adelante, hacia atrás, hacia un lado, hacia

el otro, hacia arriba, hacia abajo. La posición global cambia de lugar pero la uniformidad se mantiene. La entropía no varía.

Pero lo habitual es que no tengan lugar estos cambios. A medida que se producen movimientos individuales distintos la uniformidad es cada vez menor si los átomos se mueven en diferentes direcciones. En economía podríamos decir que el **desorden**⁷ es cada vez mayor. Se aceptaría, entonces, la validez económica del segundo principio de la termodinámica: la entropía económica está en constante aumento.

La búsqueda de unos elementos utilizados en la ciencia económica con algún tipo de relación con la entropía nos ha llevado a prestar atención a los conceptos de **estabilidad** e **inestabilidad** de una posición de equilibrio. En nuestro caso se trataría del equilibrio de una estructura social o económica bien consolidada de un país o grupo de países.

Esta estructura social o económica posee un determinado grado o nivel de entropía. Pues bien, supongamos que esta estructura se ve perturbada por unas acciones que provocan una destrucción de la uniformidad. Un desorden.

Si este desorden es de bajo nivel la uniformidad del nuevo equilibrio no varía sensiblemente de la anterior. En otras palabras, el nuevo sistema surgido como consecuencia del desorden es muy parecido al de su uniformidad inicial.

En este caso, los propios mecanismos del sistema pueden haber actuado haciéndolo volver a su uniformidad originaria. Dicho de otra

⁷ Como consecuencia de la confusión semántica que puede producirse con la utilización del término “uniformidad” o “falta de uniformidad” con otros fenómenos propios de la economía se acostumbra a hablar de “orden” o “desorden”, lo que no nos produce una gran satisfacción, precisamente.

manera restableciendo la posición de partida. Los economistas decimos que el **equilibrio es estable**. La entropía económica no ha variado sustancialmente.

Si el desorden es de alto nivel la uniformidad se puede ir modificando. Es decir, el nuevo sistema consecuencia del desorden se aleja de su posición inicial. El equilibrio es inestable. A lo largo de este proceso de alejamiento la entropía va aumentando.

Hasta aquí se cumplen el primero y segundo principio de la termodinámica.

Ahora bien, ¿qué encaje tiene lo que en muchas ocasiones acontece, cuando el efecto final es la creación de una nueva estructura social o económica? Se ha llegado, entonces, a una nueva posición de equilibrio: una nueva sociedad, un nuevo sistema económico.

No nos resistimos a la tentación de continuar recuperando algunos aspectos elementales de la termodinámica, aún a costa de un aparente alejamiento de la ciencia que nos es propia: un economista no puede olvidar lo que la ciencia económica ha heredado de la física. En todo caso mis anticipadas disculpas a los especialistas en la materia por las posibles imprecisiones que hayan podido deslizarse. La admiración que sentimos por ese espacio del Conocimiento y el objetivo que buscamos pueden ser unos atenuantes a mi osadía.

Termodinámica. “Termo” (calor), “dinamos” (fuerza, poder, movimiento): movimiento de calor.

El economista aventurero, inquieto, atrevido, percibe que los 3 principios de la termodinámica definen **cantidades físicas** fundamentales: temperatura, energía y entropía ¿tres? En efecto:

El conocido Enunciado de Planck dice que “la entropía de cualquier sistema en equilibrio se acerca a una constante que es independiente de las demás variables de la termodinámica”.

A finales de la primera década del siglo XX, **Walter Nernst** propuso el siguiente enunciado: “el cambio de entropía resultante de cualquier transformación isotérmica **reversible** de un sistema tiende a cero a medida que la temperatura tiende a cero”:

$$\lim_{T \rightarrow 0} (\Delta S)_T = 0$$

Se trata de una relación de entropía S y temperatura T y se “visualizó” en laboratorio señalando que **la entropía de un cristal puro sería nula en el cero absoluto**. El cero absoluto representa la temperatura más baja posible.

“La actividad cerebral no se halla nunca, de manera estricta, totalmente ordenada. De ser así, el sistema constituido por el cerebro tendría una entropía normalizada nula, lo que representa un electroencefalograma plano significativo de una muerte clínica”⁸. Una vez más el problema de la no reversibilidad se interpone en las soluciones sencillas.

En uno de sus trabajos Clausius⁹ ya expresaba que en un sistema aislado la entropía aumenta si el proceso es irreversible y se mantiene en los procesos reversibles.

En los sistemas sociales o económicos es necesario distinguir entre el retorno “lineal” (la reversibilidad) y el retorno “no lineal” (el que se produce siguiendo una trayectoria distinta en la salida que en el retorno al equilibrio inicial).

⁸ Kaufmann, A. Gil Aluja, J. y Gil Lafuente, A.M.: “La creatividad en la gestión de las empresas”. Ed. Pirámide. Madrid 1994, pág. 30.

⁹ Clausius, R.I.E.: Op. Cit., 1886

Cada vez más parece aceptada la incompatibilidad entre cambio económico y reversibilidad temporal.

Aquí nos llega el recuerdo de una lejana lectura de la obra de Charles Darwin¹⁰. En ella, Darwin sostiene que las fluctuaciones en las especies biológicas como consecuencia de la selección del medio provocan una evolución biológica **irreversible**.

También Boltzmann¹¹ se manifiesta, en cierto modo, en este sentido. En efecto, como bien señala Ilya Prigogine la obra de Boltzmann adquiere el mayor interés cuando señala “la contradicción entre las leyes de la física newtoniana sustentadas, entre otras, por la equivalencia entre pasado y futuro, y toda tentativa de formulación evolucionista que afirma una distinción entre futuro y pasado”

Ahora bien, cuestión muy importante, las posiciones de Boltzmann y Darwin no llegan exactamente a las mismas conclusiones. Para el primero los procesos conducen a la uniformidad¹². Para el segundo la evolución lleva a nuevas estructuras autoorganizadas.

A nuestro modesto entender las estructuras sociales y las económicas en particular son un claro ejemplo de creación de nuevos equilibrios como consecuencia de desórdenes provocados para destruir situaciones de equilibrio preexistentes.

En no pocos países, sobre todo europeos, se está produciendo un fenómeno, al cual hemos hecho referencia anteriormente. Nos referimos a la citada incorporación de nuevos idearios en el “circo” de la

10 La obra de Darwin: “El origen de las especies” fue publicada originariamente en 1859.

11 El físico vienes L. Boltzmann estableció la fórmula $H = k \ln P$, que relaciona la entropía y la probabilidad

12 Retengamos el concepto físico de uniformidad con objeto de trasladarlo al ámbito económico para su equiparación con el de igualdad en la distribución de la renta entre los elementos de un sistema.

política. Estos idearios y las actividades que de ellos se desprenden chocan con los poderes que gestionan el equilibrio existente.

Habitualmente canalizan las frustraciones de la ciudadanía hacia posiciones extremas, tanto hacia la derecha como hacia la izquierda. Son patentes sus esfuerzos para aumentar el grado o nivel de desorden.

Con un alto nivel de desorden es más fácil conseguir altas cotas de poder. Aumentan, así, su capacidad de decisión, con lo que los cambios serán más rápidos y profundos.

Les anima la esperanza de que el proceso termine en un nuevo equilibrio: nuevo sistema social o económico en su caso.

Cabe entonces preguntarse: ¿son positivos o negativos los efectos del desorden? Normalmente a corto plazo no son positivos. Pero sí pueden serlo a largo plazo, cuando se considera una cadena suficientemente extensa. En ella pueden tener lugar, evidentemente, relaciones de causalidad con efectos negativos. Pero, afortunadamente, el mundo avanza. De nosotros depende que las decisiones de quienes nos gobiernen sean las pertinentes.

Respuesta de la teoría del caos a la incertidumbre

De todos es conocido que la decisión es uno de los conceptos que se hallan en el centro de los estudios económicos y empresariales.

Cuando se habla de decisión en un contexto de complejidad no es posible soslayar una referencia a la Teoría del Caos.

Como es sobradamente conocido la teoría del caos tiene sus antecedentes en la figura de Henri Poincaré (1854-1912). Años más tarde Ed-

ward Lorenz (1917-2008)¹³ en su actividad en el Instituto de Tecnología de Massachussets, estudiaba en los inicios de los años 60 del pasado siglo XX la modelización de las variables climáticas.

En sus investigaciones advirtió la imposibilidad de acertar en los pronósticos del tiempo a largo plazo. Rompió con la creencia de que partiendo de dos situaciones iniciales próximas se llegaba a conclusiones semejantes. Por el contrario, sostenía que pequeñas variaciones en el origen pueden dar lugar a grandes diferencias en los resultados.

Sus trabajos dieron como fruto lo que hoy se conoce como “Teoría del Caos”. Esta famosa teoría se popularizó con el llamado “efecto mariposa”: un pequeño movimiento de las alas de una mariposa en Pekín puede provocar un huracán en Arizona.

De ahí la dificultad, léase imposibilidad, de una previsión perfecta en el futuro sobre todo a largo plazo.

Por qué, se preguntaban los grupos de investigación en la década de los 70 del pasado siglo. La respuesta se expresaba entonces en las tres alternativas siguientes:

- 1.- Las leyes que rigen todos los fenómenos del universo existen pero en ciertos casos son desconocidas.
- 2.- No existen leyes para determinados fenómenos, sino un desorden. Cuantos acontecimientos van apareciendo son fruto del azar. Nosotros diríamos de la incertidumbre.
- 3.- Existen inicialmente unas leyes, que en el transcurso del proceso desaparecen al iniciarse un desorden que convierte el sistema en caótico.

¹³ Lorenz, E. N.: “Deterministic Nonperiodic Flow”. Journal of the Atmospheric Sciences, vol. 20, 1963, pág. 130-141.

Como era de esperar, las investigaciones focalizaron su trabajo inicialmente en esta última alternativa. Poco a poco se amplió el campo de estudio a los fenómenos cuya naturaleza es caótica “per se”.

Consideramos suficiente este brevísimo esbozo para pasar al ámbito social con un fuerte trasfondo económico. Para ello recurriremos a uno de los acontecimientos que más han atraído la atención en los últimos años. Nos referimos al referéndum convocado en Gran Bretaña. El resultado con la victoria del “Brexit” ha abierto un panorama de inquietante incertidumbre para el futuro de la Unión Europea.

Nos encontramos frente al más arriesgado desafío para la unidad europea en toda la historia de la Unión. Las negociaciones que se están realizando¹⁴ y las que nos esperan estarán impregnadas de una alta subjetividad. Los posibles caminos a emprender se iniciaran (si no se han iniciado ya) partiendo de unos postulados prácticamente idénticos como consecuencia del apretado resultado del referéndum.

La cuantificación de las consecuencias de cada uno de los acuerdos que se irán adoptando serán de difícil “medida” (asignación numérica objetiva). Las presiones de las fuerzas económicas de los países de la Unión y de la Gran Bretaña serán difícilmente rechazables de pleno, etc, etc,..

El efecto mariposa de la teoría del caos parece que asoma la cabeza para advertirnos de las grandes diferencias en los resultados de seguir uno u otros caminos.

Para una mayor simplificación expositiva vamos a escoger dos de estos caminos. Y lo haremos inspirados, como procede, por los resultados de la consulta, muy cercanos entre la alternativa del “sí” y la del “no”.

¹⁴ Quizás a la publicación de esta obra habrá, ya, aparecido una milagrosa solución.

Por un lado las fuerzas que apuestan y empujan por una relación lo más amistosa posible entre el Reino Unido y la Unión Europea, admitiendo que ya nada será igual.

Son fuerzas que esperarán que en un futuro más o menos próximo sean incuestionable mayoría de toda la sociedad británica. Son aquella gran cantidad de jóvenes que votaron por la adhesión a la unidad europea. Son ellos quienes pueden devolver al Reino Unido al seno de las naciones libres y pacíficas que apuestan por una Europa unida y en paz.

Por otro lado hay otras fuerzas, hoy menos poderosas, pero no por ello más pacíficas, interesadas en empujar a la Unión Europea y a Gran Bretaña a un peligroso antagonismo. Antagonismo que en otros momentos de la historia de Europa acabaron en sangrientas conflagraciones. Afortunadamente eran otros momentos.

Nos podemos preguntar que subyace en realidad en el ánimo de los que se posicionan en este segundo camino. Creemos que principalmente dos aspectos.

En el primero pesan las emociones. Emociones nefastas como las que nos han conducido al atolladero en que nos encontramos: tribalismo, nacionalismo excluyente, supremacismo, racismo,...

Pero también pesan otras fuerzas mucho más racionales, pero también egoístas. Tratan de aprovechar la locura separatista británica en su propio beneficio. Tratan, entre otras, de hacer suyas las inversiones que han iniciado ya el abandono de las islas para asegurarse el acceso al mercado común.

Sólo así se comprende las pugnas de España, Italia, Francia o Alemania por hacerse con la sede de la Autoridad Bancaria Europea o la ya perdida por España y otros países, Autoridad Europea en Farmacia actualmente en Londres.

Y se comprende también, y sobre todo, la huida de los grandes bancos mundiales de la City londinense. Su hipotético destino podrían ser las capitales integradas en el mercado europeo que pugnan por ser sus nuevas sedes.

No queremos ni pensar que otros gobiernos europeos tuvieran que hacer frente ahora a retos antieuropeos. Emmanuel Macron está sintiendo ya en propias carnes síntomas de esta naturaleza. No es menor la demanda del “Rassemblement National” de Marine Le Pen de otro referéndum para el “Frexit”, la salida francesa de la U. E. Sería algo tan lejos de la otra alternativa que significaría el fin del proyecto europeo.

Repitamos una vez más: un pequeño movimiento de las alas de una mariposa en Pekín puede provocar un huracán en Arizona. “Unos votos de más o menos en un referéndum británico puede llevar a la desaparición de la U.E.”

Tengamos muy en cuenta que el “efecto demostración” está jugando muy mucho en las esferas sociales y políticas. Y también en las económicas.

Conjurémonos para que, utilizando cuanto sabemos de las nuevas investigaciones de nuestros científicos, las negociaciones no sean de salida, sino de amistoso tiempo de espera.

Los negociadores se ven y se verán obligados a adoptar una larga cadena de decisiones. Muchas, muchísimas de ellas, impregnadas de un alto grado de subjetividad. La inicial de los votantes británicos así ha sido (el importante peso de la “emociones”).

Los negociadores se verán obligados a realizar cálculos numéricos previos a los acuerdos. Mucho nos tememos que la asignación de cantidades a los aspectos racionales y a las emociones y los cálculos realiza-

dos con ellas, son y serán establecidas mediante medidas, es decir, asignaciones numéricas objetivas.

Tenemos el derecho de preguntarnos: ¿es lícito y científicamente correcto medir las emociones? He aquí uno de los grandes errores de la ciencia económica. He aquí una de las causas de los fracasos de los estudios encaminados hacia la obtención de magnitudes localizadas en el futuro. He aquí los desastres al realizar “cálculos” con ellas.

Respuesta de la teoría de los subconjuntos borrosos a la complejidad y a la incertidumbre

En el ámbito de la termodinámica con la noción de entropía es posible estudiar como actúa y evoluciona el desorden en un sistema económico complejo.

La teoría del caos permite interesantes investigaciones sobre la evolución de un sistema atacado por un desorden.

Creemos que ha quedado claro en ambos casos que la matemática mecanicista, certeza y azar, no es científicamente utilizable. Y ello, principalmente, por la subjetividad que impregna las informaciones necesarias para la obtención de resultados numéricos dirigidos a la ayuda a la decisión.

Los elementos teóricos y técnicos que hemos hallado son capaces de tratar adecuadamente la complejidad y la incertidumbre. Hoy se reúnen bajo la denominación de “Fuzzy Sets Theory” (Teoría de los conjuntos borrosos).

Los antecedentes más remotos de la Fuzzy Sets Theory se encuentran en Epicuro (341-270 a.C.) a quien se atribuye el rechazo del “Principio del Tercio Excluido” (una proposición o es verdadera o es falsa).

Afirmaba que este principio es únicamente válido si no existe una tercera posibilidad “*tertium non datur*” (tercio excluso).

Veintidós siglos después Lukasiewicz¹⁵ expone su “Principio de Valencia”, según el cual existen proposiciones que no son ni verdaderas ni falsas sino indeterminadas (cada proposición tiene un valor de verdad).

Transcurre algo más de medio siglo hasta que en 1965, Lofti Zadeh¹⁶ publica su artículo “Fuzzy Sets”. Con él se abre el camino al tratamiento de la incertidumbre.

Unos años después Kaufmann y Gil Aluja¹⁷ inician la tarea de incorporar los elementos básicos del trabajo de Zadeh al ámbito de las ciencias sociales y en particular al de las ciencias económicas.

El fallecimiento del profesor Kaufmann, en junio de 1994, trunca esta fructífera colaboración que, sin embargo fue reemprendida por Gil Aluja y sus equipos de investigación.

Fue en 1996 con ocasión de un Congreso Internacional de SIGEF en Buenos Aires cuando Gil Aluja¹⁸ presenta por primera vez su “Principio de simultaneidad gradual” (toda proposición puede ser a la vez verdadera y falsa a condición de asignar un grado a su verdad y un grado a su falsedad).

Científicos que habían trabajado antes en el camino de la complejidad y en la incertidumbre encontraron en el nuevo principio un impor-

15 Lukasiewicz, J.: “O zasadzie wyłączonego srodka”, *Przeegl'd Filofiazni*, 13, 1910, pág. 372-373

16 Zadeh, L.: “Fuzzy Sets”. *Information and Control*, 8 junio 1995, pág. 338-353.

17 El primer libro publicado en español y traducido a una elevada cantidad de idiomas es: Kaufmann, A. y Gil Aluja, J.: “Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas”. Ed. Milladoiro. Santiago de Compostela 1986.

18 Gil Aluja, J.: “Lances y desventuras del nuevo paradigma de la teoría de la decisión”. *Proceedings del III Congreso de SIGEF*. Buenos Aires 11-13 noviembre 1996.

tante punto de apoyo. Otros, que posteriormente se incorporaron en él, asentaron con mayor solidez sus investigaciones.

De un gran valor fueron los trabajos realizados en los inicios por Rosenfield¹⁹ que estudió las relaciones borrosas, Kaufmann²⁰ quien incorpora el operador de convolución max-min en las ecuaciones de relaciones borrosas, Sugeno²¹ que profundiza en el estudio de las valuaciones borrosas y Zimmermann²² con sus desarrollos mediante operaciones con números borrosos.

Posteriormente, nuevas investigaciones vinieron a engrosar el bloque científico de la teoría de los subconjuntos borrosos. La matemática numérica de la incertidumbre iba permitiendo disponer de un arsenal de elementos que, cada vez más, resolvían problemas antes irresolubles científicamente.

En 1999 Gil Aluja²³ publica la primera obra escrita sobre matemática no numérica de la incertidumbre bajo el título “Elements for a Theory of Decision in Uncertainty”. Se pone de manifiesto y se demuestra que los números no son fundamentales para el tratamiento de la decisión en ambientes inciertos. Cuatro conceptos no numéricos adecuadamente desarrollados son suficientes. Nos referimos a los de **relación, asignación, agrupación y ordenación**.

El cuerpo básico de la “Teoría General de la Incertidumbre” se había completado. Sin embargo es tan esperanzadora esta línea de inves-

19 Rosenfield, A.: “Fuzzy Grups” Journal of Mathematical Analysis and Applications, 35, 1971, págs 512-517.

20 Kaufmann, A.: “Introduccion a la théorie des sous-ensembles flous à l’usages des ingénieurs » Masson et Cie Editeurs. Paris 1973, págs 60-65.

21 Sugeno, M.: “Fuzzy Measures and Fuzzy Integrals, a Survay”, en Gupta, M.M. Saradis, G. N. y Gaines B. R. Editores: “Fuzzy Automata and Decision Processes”. North Holland. Amsterdam 1977, pág 89-102.

22 Zimmermann, H. J.: “Results of Empirical Studies in Fuzzy Sets Theory”, en Klir, G. J.: “Applier General Systems Research”. Plenum Press. New York 1978, págs 303-312.

23 Gil Aluja, J.: “Elements for a Theory of Decision in Uncertainty”. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1999.

tigación económica, tan importantes los resultados ya obtenidos, que creemos merece por lo menos unos momentos adicionales de atención.

A modo de llamamiento a la esperanza

Con este objetivo, y para cerrar este modesto relato proponemos un retorno a su inicio.

En nuestro planteamiento hemos considerado dos aspectos que configuran toda investigación económica: el establecimiento de la fenomenología real que se desea tratar y la creación de elementos formales aptos para su adecuado tratamiento.

El primero de ellos ha quedado explicitado: los sistemas económicos cambian con una rapidez cada vez mayor en direcciones raramente previsibles. Esto hace difícil su formalización y la construcción de modelos y algoritmos capaces de prestar ayuda a la decisión.

La causa de esta dificultad se encuentra, principalmente, en el arsenal matemático habitualmente utilizado por la ciencia económica desde sus orígenes a finales del siglo XIX y principios del XX.

La toma de conciencia de esta disfunción: mecanicismo en el tratamiento, humanismo en la actividad real, existía ya a mediados del pasado siglo XX.

Aparecieron varias iniciativas. Algunas de ellas dirigidas a dar solución a los aspectos conceptuales y metodológicos, otras para la creación de elementos matemáticos susceptibles de representar la complejidad y la subjetividad.

Hemos prestado atención a la termodinámica haciendo especial énfasis en el concepto de entropía, a la teoría del caos y a la “fuzzy sets theory”.

Se ha puesto en evidencia las posibilidades de la termodinámica para conocer el desenvolvimiento de las magnitudes económicas dentro de un sistema, midiendo sus sucesivos niveles de desorden.

Por otra parte, hemos expuesto el interés suscitado por la teoría del caos para poner de manifiesto la posibilidad de formalizar la evolución de los fenómenos económicos a largo plazo, que partiendo de situaciones muy cercanas pueden separarse de tal manera que den lugar a resultados muy distintos e incluso contrarios.

Sin embargo se han detectado grandes dificultades tanto en la asignación numérica como en la utilización de operadores matemáticos, tanto en los que se refiere a la termodinámica como en la teoría del caos, sobre todo por la subjetividad inherente a las magnitudes económicas.

La utilización de la matemática determinista, tanto la relativa a la certeza como la que se refiere al azar no es científicamente adecuada en el caso de las “valuaciones”, es decir, cuando se trata de asignaciones numéricas subjetivas.

La incorporación de los subconjuntos borrosos y de los operadores utilizables con ellos, ha dado lugar a la apertura de un nuevo campo de investigación. La subjetividad inherente a todo comportamiento en el que interviene el ser humano es ya hoy formalizable numéricamente.

Quedaban, sin embargo, unos espacios de la realidad en los cuales se suscitaban problemas para los que ni siquiera la matemática numérica de la borrosidad era capaz de proporcionar una adecuada solución.

La aparición en 1999 de la citada obra de Gil Aluja²⁴ “Elements for a Theory of Decision in Uncertainty” colmó estos espacios al incorporar la matemática no numérica de la incertidumbre.

²⁴ Gil Aluja, J.: op. cit, 1999

Creemos posible afirmar que ahora sí es posible hablar de una Teoría General de la Incertidumbre²⁵.

A lo largo de este breve trabajo hemos creído oportuno introducir algunos casos, que la realidad actual nos ha propiciado, con objeto de ilustrar de una manera asequible cuanto desde una perspectiva teórica quizás no hayamos sabido expresar adecuadamente.

Con gran satisfacción estamos constatando que grupos de investigación diseminados por los cinco continentes continúan trabajando para ampliar los límites del estudio de la incertidumbre.

Este objetivo, estamos seguros, será alcanzado gracias a la abnegada labor y sacrificio de aquellos investigadores que trabajan y trabajarán para conseguir, con su esfuerzo, un mundo mejor.

Algunos de ellos son conocidos. De otros no conocemos ni conoceremos nunca sus nombres. Nuestro reconocimiento a todos ellos. Pero sobre todo a quienes ni siquiera dispondrán de un mísero rincón en las infinitas páginas de la historia.

Bibliografía citada

- 1.- Kaufmann, A. y Gil Aluja, J.: “Modelos para la investigación de efectos olvidados”. Ed. Milladoiro. Santiago de Compostela, 1988.
- 2.- Stigliz, J.: “Separate and Unequaly. The Price of Unequality”. New York Times, 2 agosto 2012. También reproducido en su obra “The Price of Unequality”. W.W. Norton and Company, 2012.
- 3.- James, W.: “The Dilema of Determinism” en The Will to Believe. Ed. Dower, New York, 1956.

²⁵ Gil Aluja, J.: “Génesis de una teoría de la incertidumbre”. Discurso pronunciado en el acto de imposición de la Gran Cruz de la Orden Civil Alfonso X el Sabio. Ed. R.A.C.E.F. Barcelona 2000, pág 27

- 4.- Popper, K.: "L'univers irrésolu. Plaidoyer pour l'indeterminisme". Ed. Hermann. París 1984, pág. XV.
- 5.- Clausius, R. I. E.: Ann Phis, CXXV, 1886.
- 6.- Gil Aluja, J.: "Apprendre "versus" copier. L'apprentissage en Sciences Sociales". Conferencia pronunciada con motivo del coloquio internacional «Penser L'Europe» Bucarest, 2016.
- 7.- Kaufmann, A., Gil Aluja, J. y Gil Lafuente, A.M.: "La creatividad en la gestión de las empresas". Ed. Pirámide. Madrid 1994, pág. 30.
- 8.- Clausius, R.I.E.: Op. Cit., 1886
- 9.- La obra de Darwin: "El origen de las especies" fue publicada originariamente en 1859.
- 10.- Lorenz, E. N.: "Deterministic Nonperiodic Flow". Journal of the Atmospheric Sciences, vol. 20, 1963, pág. 130-141.
- 11.- Lukasiewicz, J.: "O zasadzie wylaczonego srodka". Przegl'd Filofiazni, 13, 1910, pág. 372-373
- 12.- Zadeh, L.: "Fuzzy Sets". Information and Control, 8 junio 1995, pág. 338-353.
- 13.- Kaufmann, A. y Gil Aluja, J.: "Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas". Ed. Milladoiro. Santiago de Compostela 1986.
- 14.- Gil Aluja, J.: "Lances y desventuras del nuevo paradigma de la teoría de la decisión". Proceedings del III Congreso de SIGEF. Buenos Aires 11-13 noviembre 1996.
- 15.- Rosenfield, A.: "Fuzzy Grups". Journal of Mathematical Analysis and Applications, 35, 1971, págs 512-517.
- 16.- Kaufmann, A.: "Introduction a la théorie des sous-ensembles flous à l'usages des ingénieurs". Masson et Cie Editeurs. Paris 1973, págs 60-65.
- 17.- Sugeno, M.: "Fuzzy Measures and Fuzzy Integrals, a Survey", en Gupta, M.M. Saradis, G. N. y Gaines B. R. Editores: "Fuzzy Automata and Decision Processes". North Holland. Amsterdam 1977, pág 89-102.
- 18.- Zimmermann, H. J.: "Results of Empirical Studies in Fuzzy Sets Theory", en Klir, G. J.: "Applier General Systems Research". Plenum Press New York 1978, págs 303-312.

- 19.- Gil Aluja, J.: “Elements for a Theory of Decision in Uncertainty”. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1999.
- 20.- Gil Aluja, J.: “Génesis de una teoría de la incertidumbre”. Discurso pronunciado en el acto de imposición de la Gran Cruz de Alfonso X el Sabio. Ed. R.A.C.E.F, Barcelona, 2000, pág. 27.

**ESCUELAS DE LÓGICA BORROSA
FUZZY ECONOMICS' SCHOOLS**

DR. FERNANDO CASADO

**Secretario Académico de la Real Academia de Ciencias Económicas
y Financieras**

Las Escuelas de Lógica Borrosa se iniciaron en España, pero inmediatamente se expansionaron por diversos países.

A continuación, se desarrolla la evolución que han tenido estas escuelas en diversos países, iniciando el trabajo por España, que es donde se sitúa su origen.

ESCUELA ESPAÑOLA DE LÓGICA BORROSA

Dr. Fernando Casado

Secretario Académico de la Real Academia de Ciencias Económicas y
Financieras del Instituto de España

Los primeros pasos en el estudio de la Economía Borrosa

Los inicios de la hoy floreciente “Escuela Española de Lógica Difusa” deben enmarcarse en los rigores de la postguerra española, una época en la que este país trataba de encontrar su lugar en la comunidad científica internacional, tras dos décadas de autarquía y aislamiento.

Los orígenes de esta Escuela deben remontarse a las inquietudes del profesor Gil Aluja por abrir su horizonte intelectual a la actividad científica realizada fuera de nuestras, prácticamente cerradas, fronteras. Al asistir en Grenoble, a un curso sobre “*Methods of Operations Research*”, impartido por el profesor Arnold Kaufmann, antes de que saliera a la luz pública su obra, escrita en colaboración con Robert Faure: “*Invitation a la Recherche Opérationnelle*”, publicada por Dunod en 1961, descubrió las posibilidades de utilizar los elementos teóricos y técnicos impartidos en aquellas sesiones, para dar solución a los problemas que en cada momento planteaba la realidad.

Los contactos permanentes del profesor Gil Aluja con Arnold Kaufmann, fueron de un extraordinario valor. Y no solo desde una perspectiva intelectual, especulativa y teórica, sino también como planteamientos teóricos aplicables a las realidades económicas que configuran nuestra sociedad.

Fue precisamente la vocación docente e investigadora, tanto de Arnold Kaufmann como de Gil Aluja, la causa de que se plantearan la posibilidad de implantar esquemas y modelos para dar solución a los problemas económicos y sociales, cada vez más inmersos, en un contexto de complejidad e incertidumbre.

No parecían estar muy convencidos de la eficacia de los elementos formales normalmente aceptados entonces, impecables en su formalidad, pero alejados de los planteamientos surgidos día a día, en el quehacer de empresas e instituciones. Tuvieron la oportunidad de leer un trabajo del profesor Lotfi A Zadeh "*Fuzzy Sets*", cuyo estudio cambiaría totalmente el enfoque de sus trabajos, a la vez que daba un nuevo sentido a las tareas docentes e investigadoras realizadas hasta entonces.

A partir de aquel momento se fijaron como primer objetivo que Barcelona sería en el futuro el eje sobre el que girarían los estudios, investigaciones y docencia de los *Sistemas Económicos y de Gestión* en el ámbito de la incertidumbre, sustentados en *los Fuzzy Sets*¹.

Mientras tanto, Arnold Kaufmann estaba ultimando el que sería el primer libro conocido sobre *Fuzzy Logic* escrito por un solo autor: "*Introduction a la théorie des sous-ensembles flous*" Ed. Masson 1973, al que seguirían otros tres volúmenes con el mismo título (1973-1978),

¹ Traducción del artículo de Jaime Gil Aluja (2013): "Lotfi A. Zadeh and Economic Uncertainty" en: R. Seising et al. (Eds.): *On Fuzziness: Volume I*, pp.205-209. DOI: 10.1007/978-3-642-35641-4_31© Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

traducidos al español, inglés y ruso. Unos años después, en 1980, el profesor Enric Trillas publicaba en Ed. Vicens su obra: “*Conjuntos borrosos*”.

Se creía, en esa época, que este objetivo global podría ser alcanzado, en un alto grado, si se dirigían los esfuerzos en tres direcciones:

- la docencia,
- la investigación,
- la organización, sistematización y coordinación de los grupos humanos interesados en esta nueva concepción de los estudios económicos y de gestión.

Para la consecución de estas tareas, se contó con la colaboración de jóvenes profesores pertenecientes a las Universidades de Barcelona, Rovira i Virgili, y Gerona, estas dos últimas encabezadas por el fallecido profesor Carlos Cassú y el profesor Joan Carlos Ferrer en Gerona y por los profesores Antonio Terceño y Gloria Barbera en Reus-Tarragona.

A partir de ese momento, se iniciaron seminarios en universidades y otras instituciones: los primeros impartidos por el profesor Kaufmann, en la propia Universidad de Barcelona, Fundación Abad Oliba, sede de la U.B. y en Reus, en la sede que se convertiría después en la Facultad de Economía y Empresa de la Universitat Rovira i Virgili. Posteriormente se organizaron seminarios en los que compartían docencia el profesor Kaufmann y el profesor Gil Aluja, a la vez que se extendían territorialmente las enseñanzas a otras comunidades: Andalucía, Galicia, País Vasco, Extremadura, Valencia, Castilla-León... Poco a poco se iban formando grupos de investigación, cuya presencia en congresos nacionales e internacionales se hacía cada vez más frecuente y notoria.

Posteriormente un profesorado cada vez más numeroso, consiguió que en los planes docentes de las Universidades existieran asignaturas con contenido “explícitamente” Fuzzy. La primera fue la Universidad de Barcelona, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, bajo las denominaciones siguientes: “Investigación Operativa (métodos y modelos en la incertidumbre)”; “Técnicas Operativas de Gestión en la incertidumbre”; “Inversiones en la incertidumbre”; “Dirección Financiera II (análisis financiero en la incertidumbre)” y “Creatividad en la Empresa”.

Consolidación de la investigación mediante la lógica borrosa

La impartición de estas materias dio lugar, más tarde, a la elaboración de Tesis Doctorales que merecieron, siempre, la más alta consideración por los respectivos tribunales que las juzgaron. Citaremos, a título de ejemplo: “*La gestión financiera en la incertidumbre. Del expertizaje singular a los R+expertones*” (Ana M^a Gil Lafuente 1992); “*La gestión comercial: toma de decisiones en un entorno de incertidumbre*” (Jordi Bachs Ferrer 1993); “*Determinación de la incertidumbre inherente a las operaciones comerciales con Latinoamérica en base a la teoría de los subconjuntos borrosos*” (Ricardo Onses 1994); “*Instrumentos para el Análisis de Operaciones Financieras con datos inciertos*” (Antonio Terceño 1995); “*Marketing numérico y no numérico de la incertidumbre*” (Jaime Gil Lafuente 1996); “*Las expectativas de los empresarios agrícolas sobre el precio de las materias primas como base de un modelo de optimización mediante técnicas Fuzzy Sets en la programación*” (Vicente Sanjosé Mitjans 1997); “*Adaptación de las agencias de viaje a un entorno digital mediante la implementación de la teoría de afinidades*” (Jordi Oller Nogués 2000); “*Las lógicas multivalentes en la gestión de empresas con productos de alto riesgo*” (Mari Carmen Sanahuja Pi 2004); “*Modelos para el análisis de atributos contemplados por los clientes en una estrategia de marketing relacional*” (Carolina Luis, 15 diciembre 2011)

La docencia se halla, casi siempre, en la antesala de la investigación. Y si en un principio los trabajos en el campo de la economía y la gestión llevaban siempre el nombre de A. Kaufmann, seguido del de J. Gil Aluja, poco a poco han ido apareciendo valiosos trabajos de jóvenes profesores universitarios.

Los primeros en añadir a esos nombres fueron Ana María Gil Lafuente y Antonio Terceño, hoy Catedráticos de Universidad de Barcelona y Rovira i Virgili respectivamente.

Desde una perspectiva global, las aportaciones científicas se han concentrado en la incorporación a las investigaciones económicas de nuevos elementos basados en la Fuzzy Logic, capaces de tratar fenómenos económicos complejos. Para ello, se replantearon conceptual y metodológicamente las bases mismas en las que se asentaban los instrumentos utilizados habitualmente para el tratamiento de las realidades económicas en un contexto caracterizado por un alto grado de incertidumbre y a partir de ahí, se desarrollaron un conjunto armónico de modelos y algoritmos.

Los trabajos de Lotfi Zadeh permitieron bucear en las raíces mismas de la estructura del pensamiento económico. La incapacidad del “*principio del tercio excluso*” para fundamentar razonamientos válidos para el estudio de fenómenos económicos complejos llevó mucho más tarde a enunciar el “*principio de simultaneidad gradual*”, presentado en 1996 en el Congreso SIGEF de Buenos Aires. Este principio ha constituido el punto de arranque para el desarrollo de nuevos operadores lógicos que han permitido desarrollar importantes elementos para el tratamiento de los componentes de subjetividad inherentes a los problemas económicos y de gestión. Los modelos y algoritmos elaborados están proporcionando importantes resultados en el tratamiento de los problemas reales de la sociedad actual, en donde las decisiones se enfrentan a nuevos retos de alta complejidad.

Los primeros trabajos salen a la luz, por una parte, con la participación en Congresos, tanto españoles como internacionales defendiendo, a veces no sin cierta dificultad, postulados que partían de los hallazgos de Lotfi Zadeh: “*¿Qué difícil resulta todavía remover las conciencias de quienes ostentan la «verdad» de la ciencia heredada*”!²

Irradiación internacional de las investigaciones españolas

Sería prolijo enumerar los más de 200 trabajos publicados en revistas científicas y proceedings de congresos y conferencias durante los 25 años siguientes a la publicación del primer libro de Kaufmann y Gil Aluja, pero sí que hay que resaltar y dedicar un párrafo a la elaboración y publicación de las siguientes obras en forma de libro.

El primer libro sobre management borroso fue editado en español el año 1986 bajo el título: “*Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de la empresa*” con la firma de A. Kaufmann y J. Gil Aluja. A este trabajo y con la autoría de ambos le siguieron otros 7 libros, el último de los cuales: “*Grafos neuronales para la economía y gestión de las empresas*” (1995) salió a la luz pública casi un año más tarde del fallecimiento del profesor Kaufmann. En los últimos años de su vida se habían incorporado al equipo de trabajo los dos jóvenes profesores ya citados: Antonio Terceño que se unió en la elaboración del trabajo “*Matemática para la economía y gestión de empresas*” (1994) y Ana M^a Gil Lafuente con la que se elaboró la obra “*La creatividad en la gestión de empresas*” (1994), con posteriores traducciones a varios idiomas.

Uno de los campos de estudio que más popularidad han alcanzado en los últimos años es el de la gestión económico-financiera del deporte. En este ámbito de estudio, el profesor Jaime Gil Lafuente publicó un

² Traducción del artículo de Jaime Gil Aluja (2013): “Lotfi A. Zadeh and Economic Uncertainty” en: R. Seising et al. (Eds.): *On Fuzziness: Volume I*, pp.205-209. DOI: 10.1007/978-3-642-35641-4_31© Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

libro en base a la lógica Fuzzy: “*Algoritmos para la excelencia. Claves para el éxito en la gestión deportiva*” (2002).

La súbita desaparición del profesor Kaufmann exigió unos cambios en los equipos de trabajo, así como una reestructuración de las numerosas tutorías.

En este contexto, el profesor Gil Aluja publicó los siguientes libros, ahora, con mayor contenido económico: “*La gestión interactiva de los recursos humanos en la incertidumbre*” (1996); “*Invertir en la incertidumbre*” (1997); “*Elementos para una teoría de la decisión en la incertidumbre*”(1999) y la “*Introducción a la teoría de la incertidumbre en la gestión de empresas*” (2002), los tres primeros con versión inglesa de Kluwer A. P. y la última de Ed. Springer. Finalmente, una obra publicada en español: “*Algoritmos para el tratamiento de fenómenos económicos complejos. Bases, desarrollos y aplicaciones*” (2007), fue realizado conjuntamente con Ana M^a Gil Lafuente y publicada por Ed. Springer con el título “*Towards an Advanced Modelling of Complex Economic Phenomena*”.

A lo largo de tantos años de trabajo las comunidades académicas y universitarias han querido reconocer la labor realizada en el ámbito de la economía y gestión, siguiendo la huella que ha ido dejando Lofti Zadeh. Así, se han otorgado al Dr. Gil Aluja 30 doctorados “Honoris Causa” por universidades públicas de cuatro continentes y le han sido abiertas las puertas de 11 Academias Científicas Europeas.

A partir del trabajo que publicó en 1986, en forma de libro, ya quedan incorporados sistemáticamente los Fuzzy Sets de Lofti Zadeh al análisis y tratamiento de los problemas de gestión.

De esta actividad investigadora han nacido nuevas teorías y ha tenido lugar la generalización de otras existentes. En este sentido mere-

cen especial relieve la teoría de los efectos olvidados, la teoría de las afinidades y la teoría de los expertones. Por otra parte, la creación y desarrollo del concepto de grafo neuronal, constituye un paso importante para “explicar” las conexiones complejas de las relaciones económicas y de gestión. En efecto³:

- A) La teoría de los efectos olvidados nace a partir de una idea de Ramón Llull (1235-1315) y permite establecer el conjunto de relaciones de causalidad de segundo y superiores grados, que la mente humana, en su estado actual, no es capaz de realizar y que en cambio resulta posible a través de operadores lógicos. En una primera aproximación se utiliza el operador de convolución maxmin.
- B) La teoría de las afinidades constituye una generalización de las relaciones de similitud, las cuales permiten ser formalizadas tanto a través de matrices rectangulares como presentadas mediante estructuras reticulares.
- C) La teoría de los expertones, ya apuntada por Kaufmann en uno de sus iniciales trabajos, significa un cambio profundo en el tratamiento de los problemas de agregación, dado que, mediante su desarrollo, es posible mantener toda la información de la que inicialmente se dispone hasta el final del proceso, a la vez que realizar operaciones no lineales con los datos agregados.

En los últimos años se ha puesto de manifiesto que cada vez resulta más difícil asentar los conocimientos económicos en la “concepción geométrica”, con su mecanicismo e irreversibilidad. Gracias a la flexibilidad y adaptabilidad de los Fuzzy Sets se ha podido incorporar a los estudios de gestión la idea darviniana con sus componentes de asimetría

³ Gil Aluja: “Penser l’Europe” Fundatia Nationala Pentru Stunta si Arta Bucarest 2016.

e irreversibilidad. La diferencia realizada por Ilya Prigogine entre estructura de equilibrio y estructura disipativa con su actividad generadora de entropía, ha permitido vislumbrar nuevas posibilidades de desarrollar elementos capaces de comprender mejor la complejidad de las relaciones económicas.

Hasta ahora, los resultados han sido alentadores como lo demuestra el último libro publicado ya citado⁴ en el que los autores presentan dos líneas posibles de “Fuzzyficar” espacios pretopológicos y topológicos con objeto de hacerlos aptos para la construcción de algoritmos destinados a tratar situaciones económicas con un alto grado de incertidumbre.

Estructura organizativa de los estudios económicos Fuzzy

La dispersión geográfica, pero también ideológica en sentido académico, de todos, personas y grupos, que se iban incorporando a las líneas de docencia e investigación económica Fuzzy, exigía crear unas estructuras organizativas si se deseaba canalizar con éxito y dar oportunidades a los investigadores deseosos de iniciar un nuevo recorrido científico prometedor.

Después de múltiples gestiones y sopesando las posibilidades del momento, se adoptó la decisión de establecer como centro y sede de estas actividades la ciudad de Reus, en donde se halla ubicada la Facultad de Economía y Empresa de la Universidad Rovira y Virgili.

La cobertura jurídica de la organización científica vendría dada por dos instituciones: una asociación que adoptó el nombre de SIGEF (Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy) que organiza un encuentro anual bajo el formato de congreso y publica una revista, Fuzzy Economic Review y una fundación FEGI (Fundación para el Estudio de

4 Gil Aluja, J. y Gil Lafuente, Ana M. (2007): op.cit, Ed. Springer.

la Gestión en la Incertidumbre), cuyo cometido principal consiste en obtener medios financieros para subvenir a la necesidades de SIGEF, a la vez que conceder periódicamente un premio para honrar a los investigadores del ámbito de la Economía y Gestión Fuzzy. La presidencia de esta fundación recayó en la persona del alcalde de la ciudad de Reus.

En abril de 1994, se crearon la asociación y la fundación, y en la misma ciudad en que tenían su sede, Reus, en los días 16-18 de noviembre 1994 tuvo lugar el I Congreso Internacional de Gestión y Economía Fuzzy.

A este congreso le han ido siguiendo, año tras año, de manera ininterrumpida congresos en distintas ciudades europeas y americanas.

En el año 1994, se creó la revista destinada a recoger trabajos científicos, que adoptó el nombre de Fuzzy Economic Review, la cual, con periodicidad semestral, sigue hoy la tarea de dar a conocer los trabajos económicos y financieros considerados de calidad entre los que utilizan elementos de Fuzzy Logic, para proporcionar vías de solución a los problemas que, en cada momento, preocupan a los responsables de la economía y la gestión, tanto del ámbito micro como macroeconómico. Fuzzy Economic Review está indexada en la base SCOPUS, además de EBSCO, CCHS, ZBW, Latindex, Dialnet, ProQuest, ISOC, DICE y CRUE-REBIUM.

La fundación FEGI, por su parte, continúa, dentro de sus posibilidades, con la labor de apoyar y financiar actividades de la asociación.

En el año 1994, con ocasión del repentino fallecimiento del profesor Arnold Kaufmann la fundación FEGI acordó, por unanimidad, instituir el Premio Kaufmann para recompensar a aquellos científicos que destacaran por sus investigaciones en el ámbito de estudio de los sistemas económicos o de gestión con la utilización de la Fuzzy Logic. Se encargó el diseño de una medalla, que sería fundida en oro, al gran es-

cultor Josep M^a Subirachs, autor de la fachada de la Pasión del templo expiatorio de la Sagrada Familia de Gaudí.

Desde entonces han sido galardonados ilustres investigadores que, trabajando en el ámbito económico o creando métodos, modelos o algoritmos utilizables en este campo, han realizado aportaciones de alto interés científico y/o técnico. Han sido premiados: H.J. Zimmermann, M. M. Gupta, J. Klir, J. Gil Aluja, J. Kacprzyk y C. Carlsson. En el año 2004, se hizo entrega en Reus de la Medalla Kaufmann a Lotfi A. Zadeh, el precursor de todo este movimiento.

Unos meses después del fallecimiento del Profesor Kaufmann, su hijo Alain, realiza una llamada al Profesor Gil Aluja para informarle del deseo de su padre de legarle su biblioteca personal a fin de que le diera el destino que considerara más conveniente.

El Dr. Gil Aluja agradeció el legado a la vez que no creyó legítimo que tan importante colección de obras quedaran en manos de una sola persona.

Por aquel entonces se había creado, ya, la Fundación FEGI que presidía el alcalde de Reus, Don José Abelló. De mutuo acuerdo decidieron ir a recoger el fondo bibliotecario Kaufmann a Grenoble (Francia) en donde tenía su estudio y domicilio el fallecido investigador, para dejarlo en depósito en un edificio del Ayuntamiento donde se hallaban las dependencias de la Fundación. Más tarde se le daría un destino definitivo.

Viajaron personalmente a Grenoble, acompañados de una furgoneta, el alcalde Abelló y el catedrático Gil Aluja para recoger las obras que llenaron totalmente el vehículo habilitado. Ambos fueron testimonio de la llegada a su destino, Reus, de la totalidad de los libros recogidos en su origen.

Como sucede muy frecuentemente en la vida de las corporaciones municipales, los cambios de los máximos mandatarios conllevan proyectos e intereses materiales e intelectuales distintos. Años más tarde la biblioteca Kaufmann seguía en “depósito” en el mismo lugar, con una ínfima utilización.

Los responsables acordaron, entonces, trasladar la importante donación bibliográfica a la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad Rovira i Virgili, en Reus, donde reside SIGEF (Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy), en donde las obras pueden ser consultadas por el profesorado y alumnos de aquella Facultad y por cuantos investigadores estén interesados.

Irradiación Internacional de la “S.S of F.E”

Como habría deseado Zadek, Barcelona se había convertido en el corazón de las investigaciones económicas sustentada por su gran hallazgo, los Fuzzy Sets y, a 100Km., en la ciudad de Reus, se encuentran las estructuras técnicas y administrativas impulsoras de la creación de agrupaciones que orientan científicamente al resto del mundo.

Hoy ya no es posible enumerar todos los centros en los que, en mayor o menor medida se explican, estudian, investigan y publican trabajos de economía pura o aplicada en las que el concepto de los Fuzzy Sets intervienen para dar solución a problemas complejos e inmersos en un contexto de incertidumbre.

Pero, además, desde hace unos años, la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras (RACEF) ha emprendido la importante tarea de luchar a favor de un cambio radical en los principios que informan los estudios habitualmente seguidos en los centros docentes superiores de España, para el aprendizaje de la economía.

Lo que en principio parecía una línea de investigación más, se está convirtiendo en un objetivo cada vez más deseado por un mayor número de investigadores: la conversión de una ciencia económica mecanicista en una ciencia económica humanista. Para ello ha sido necesario poder introducir la subjetividad (cada decisor es distinto de otro) y la emotividad (el sentimiento humano acompaña siempre a la razón) en los modelos y algoritmos utilizados para dar solución a los problemas que aparecen en la realidad de las relaciones económicas. Los Fuzzy Sets lo han permitido.

Esta y otras razones han servido de reclamo que ha sido seguido por intelectuales de un elevado número de países. Los congresos, conferencias y encuentros internacionales han jugado un importante papel en la política de llamada y fidelización de estudios en todo el mundo.

Aún así, lo que se considera de mayor valor ha sido la llegada de nuevos talentos que llamaron a las puertas de nuestros centros docentes por la recomendación de los grandes precursores. Debe constituir un orgullo y una satisfacción para la “Spanish School of Fuzzy Sets” el reconocimiento a su labor y valía, cuando nuevos candidatos acudían a Barcelona y Reus recomendados por personalidades como Zadek y Kaufmann que señalaban dichos lugares como los más idóneos.

LA SPANISH SCHOOL OF FUZZY ECONOMICS EN AZERBAIYÁN

Gorkhmaz C. Imanov y Rafik A. Aliev

Sería muy interesante poder enumerar todos los casos en los que un universitario, un investigador se ha incorporado a la Spanish School según el proceso que le ha llevado hasta dicha escuela, pero debido a la

dificultad de exponer exhaustivamente todos los casos, se ha preferido por el momento no detallarlos.

Pero si que se considera adecuado relatar uno de esos episodios, que, por su singularidad, merece ser conocido. Los dos protagonistas lo comentan frecuentemente intercambiando sonrisas de complicidad.

Un buen día y sin aviso previo llamó a la puerta de la sede de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras un profesor de Azerbaiyán presentándose como Gorkhmaz C. Imanov, enviado por el profesor Lotfi A. Zadek. Una nota del maestro era su carta de presentación. Fue recibido por el Presidente de la RACEF y en la conversación se apreció que ambos tenían su patria de origen en común. Expuso que su formación en matemática aplicada le llevó inicialmente a buscar sus inquietudes intelectuales en el campo de la economía, recibiendo el Ph.D. y grado de Doctorado en el Instituto Central de Matemáticas Económicas de Moscú (Federación Rusa) en 1967 y 1975, respectivamente.

Sus trabajos más conocidos se inscriben en el ámbito de la modelización de la estructura funcional de los sistemas económicos, la planificación de la economía nacional y la creación de modelos de desarrollo socioeconómico, principalmente. Todo ello, pues, referido al análisis y política macroeconómica.

Comenta frecuentemente Imanov, que, como ha sucedido a muchos espíritus inquietos, no se hallaba “cómodo” con el instrumental utilizado en su intento de solución de los problemas que se le iban planteando. Constató una disociación entre los procesos de formalización y las realidades que se pretendían formalizar.

Conocedor de los hallazgos de su paisano Zadek decidió dar el salto, no solo desde el extremo este de Europa hasta el extremo oeste de

los E.E.U.U., sino un salto para emprender una nueva aventura científica. Se desplazó a Estados Unidos y solicitó ayuda y consejo a Lotfi Zadek. La respuesta que obtuvo fue la misma que el profesor daba siempre en estos casos: “*su lugar está en Barcelona y la persona a contactar es Gil Aluja*”.

Desde entonces, Imanov frecuenta mucho Barcelona y el mismo dice siempre: “... *y aquí estoy muy a menudo y en Baku está mi escuela y mis investigaciones actuales*”.

En estos momentos Gorkhmaz C. Imanov posee un importante arsenal de trabajos desarrollados gracias a los principios, conceptos, métodos y modelos surgidos a la vez que inscritos de y en la Fuzzy Economics.

Entre sus obras de repercusión internacional nos permitimos citar, por orden cronológico, y solo como ejemplos de proximidad intelectual: la obra colectiva: « *Nuevos mercados para la recuperación económica: Azerbaiyán* »; Ed. RACEF (2011) con el Premio Nobel Finn E. Kydland, « *Fuzzy estimation of quality of socioeconomic system* », Ed. RACEF (2013); « *Fuzzy Models Estimation of the Quality of Social Systems, Modelling Social Systems* », Lambert Academic Publishing, Germany (2013) y « *Models for Estimation of the Quality of National Strategy of Sustainable Development* », LAP Lambert Academic Publishing, Germany (2016).

Estas obras han sido acompañadas de una elevada cantidad de artículos publicados en importantes revistas científicas, divulgando sus interesantes trabajos a través de conferencias y ponencias en Congresos y Seminarios, que le han valido un amplio reconocimiento internacional.

En la actualidad Gorkhmaz C. Imanov continúa liderando la investigación Fuzzy Economics en Azerbaiyán. Es profesor y miembro co-

responsable de la Academia Nacional de Ciencias de Azerbaiyán, director del Departamento de Economía Fuzzy del Instituto de Sistemas de Control de ANAS. Su relación con Barcelona se intensificó con su incorporación a la RACEF, como Académico Correspondiente por Azerbaiyán, y después como miembro de la Red económica internacional “Barcelona Economics Network”.

La responsabilidad como representante de la “Spanish School of Fuzzy Economics” no finaliza con la importante tarea realizada con sus investigaciones personales y colectivas en Azerbaiyán. Gorkhmaz C. Imanov tiene como objetivo dar continuidad en su país, que también es el del creador de los “Fuzzy Sets”, a las investigaciones económicas que tan alto nivel han alcanzado. Para ello tiene a su lado otro importante investigador: Rafik A. Aliev.

El profesor Aliev estuvo interesado desde casi los primeros momentos por los “Fuzzy Sets”. Sus incursiones iniciales se sitúan en los inicios de la década de los 70 del pasado siglo, cuando se hallaba interesado por los problemas de decisión con información incompleta, y en la aritmética de los números enteros (Z). De sólida formación matemática completó sus estudios alcanzando el Ph.D. y grados de Doctorado en el Instituto de Estudios de Control de Moscú (Federación Rusa), también en los años de 1967 y 1975, respectivamente, como fue el caso de Imanov.

Figura importante, hoy, en el estudio de la borrosidad técnica, el Dr. Aliev puede ser, en el futuro, un sólido apoyo en el desarrollo de las técnicas numéricas que la solución de problemas económicos y financieros tanto precisa, como consecuencia de la creciente complejidad de los sistemas sociales internacionales.

El acercamiento intelectual entre los profesores Imanov y Aliev hace pensar en la posibilidad de grandes logros que, de convertir lo

posible en real, elevaría los estudios económicos “Fuzzy” de Azerbaiyán hasta niveles de primera magnitud.

Los contactos internacionales y participaciones en la gestión de los contenidos de revistas científicas avalan el prestigio de Aliev en los círculos del conocimiento más avanzado.

Es satisfactorio apreciar las realizaciones que han tenido lugar en Azerbaiyán, pero todavía es más esperanzador que en el futuro pueda llegar a ser la “Escuela Azarí de Economía Borrosa”.

INTRODUCCIÓN Y EVOLUCIÓN DEL ESTUDIO Y APLICACIÓN DE LOS “FUZZY SETS” EN MÉXICO

Federico González Santoyo y Beatriz Flores Romero

Una acción eficiente de las organizaciones, hoy día, demanda¹ la aplicación de herramientas modernas en la gestión empresarial que permitan realizar una toma de decisiones racional, eficiente y eficaz para el desarrollo auto sostenido de las naciones del mundo, ante una política económica globalizada.

Una de las herramientas más innovadoras para el tratamiento de problemas económico-empresariales a nivel global, y México no es una excepción, es consecuencia de la utilización de las técnicas derivadas de la Lógica Borrosa. Las herramientas resultantes se han comprobado útiles para análisis de problemas de los que se tiene poca información, así como imperfecta, además de requerir de la participación de expertos para apoyar el proceso de generación, obtención y homogeneización de la información de referencia.

El interés por las teorías Fuzzy ha crecido de forma espectacular en los últimos tiempos. Hace simplemente 23 años pocos eran en estas áreas,

los trabajos técnicos en los que se ofrecían análisis de los que ahora se encuentran con mucha frecuencia en la literatura especializada. Sin embargo la necesidad de dar soluciones eficientes, más allá de aproximaciones filosóficas, razonables en mayor o menor grado, pero que no resuelven situaciones concretas para las que el decisor demanda respuestas, ha propiciado la investigación en el ámbito de las ciencias económicas.

Los investigadores inician de forma más intensa y formal el estudio de la Fuzzy Logic en México a partir de 1995, a raíz de una estancia académica y de investigación de González Santoyo en la Universitat Rovira i Virgili (URV-España), concretamente en la Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales. Allí tiene la oportunidad de conocer a tres grandes científicos del estudio de problemas económicos en ambientes de incertidumbre. Son el Prof. Dr. Jaime Gil Aluja, Presidente de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras (RACEF-España) y considerado, a nivel mundial, el padre de la Lógica Borrosa en el estudio de problemas económico-empresariales, así como al Dr. Antonio Terceño Gómez un excelente investigador en este campo, actualmente Decano de la citada Facultad de la URV y la Dra. Ana María Gil Lafuente, Catedrática de la Universidad de Barcelona.

A partir de esta estancia, ininterrumpidamente se han dado movi- lidades a y desde España, a y desde Morelia México a otras partes del mundo, en donde se han organizado congresos y capacitaciones relacionadas con la lógica borrosa. Concretamente, el profesor González Santoyo, como mínimo, una vez al año ha realizado contactos personales.

A esa tarea se ha incorporado un nutrido grupo de investigadores que se ha ido constituyendo a partir del citado encuentro inicial.

En la actualidad se cuenta con un número importante de investiga- dores que se han graduado como Doctores con temáticas de Lógica Borrosa. Entre otros, además del propio González Santoyo, es preciso

mencionar a la Dra. M. Beatriz Flores Romero, al Dr. Rubén Chávez Rivera, al Dr. Gerardo Alfaro Calderón, al Dr. Manuel Gutiérrez Gallejos, al Dr. José Manuel González, al Dr. Sergio G. de los Cobos Silva, al Dr. Emiliano Velázquez Esquivel, al Dr. Ricardo Aceves García y al Dr. Juan José Flores Romero. Todos ellos investigan y aplican la Fuzzy Logic. Estos doctores son pilares para la difusión y aplicación de esta corriente científica en universidades tales como la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el Instituto Iberoamericano para el Desarrollo Empresarial (INIDEM), la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Tecnológico de Monterrey, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad de Occidente, el Instituto Politécnico Nacional entre otras. Así mismo se han derivado aplicaciones del área hacia soluciones a problemas en empresas eléctricas, así como hacia productoras de bienes y servicios de México.

La Escuela Española de Economía Borrosa ha extendido su influencia en los primeros encuentros internacionales sobre esta nueva vía de conocimientos que se ha convenido en llamar Fuzzy Logic. En los últimos 20 años tres grandes acontecimientos inician la andadura de la modernización del conocimiento económico. En efecto: en nuestra era moderna, en 1999, en la ciudad de Morelia, México, se lleva a cabo el Primer Congreso Internacional en México dedicado a esta disciplina, coorganizado por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la International Society for Fuzzy Management and Economy-SIGEF. En este evento académico científico se presentaron 30 trabajos de investigación por parte de investigadores mexicanos y extranjeros que acudieron al mismo. Se publicaron los resultados en el libro¹ de González Santoyo F, Flores R.J. (Editores, 1999), *VI Congress of International Society for Fuzzy Management and Economy: Dealing with Uncertainty in the New Enterprise Challenges*.

En 2005, nuevamente la ciudad de Morelia, México, es sede de la MS'-05: The International Conference on Modelling and Simulation,

organizada por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, la International Association for Advancement of Modelling and Simulation (AMSE) y la FeGoSa-Ingeniería Administrativa S.A. de C.V. Los resultados quedaron reflejados en una obra² de Gil Aluja J., González Santoyo F, Flores Romero B, Flores Romero J. (Editores-2005), *Techniques and Methodologies for Modelling and Simulation of Systems*, que comprende 41 trabajos relacionados con aplicaciones de Fuzzy Logic.

En 2010 la ciudad de Morelia, México vuelve a ser anfitriona del XVI International Congress of the SIGEF. Congreso dedicado a este nuevo espacio del conocimiento y organizado por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, la International Society for Fuzzy Management and Economy-SIGEF, el Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán y FeGoSa-Ingeniería Administrativa S.A. de C.V. En ese evento académico científico se presentaron 45 trabajos de Investigación por parte de tanto investigadores mexicanos como de otros países que acudieron al mismo. Los resultados han quedado plasmados en el libro³ de González Santoyo F, Flores R.B., Terceño Gómez A. (Editores, 2010), *XVI Congress of International Society for Fuzzy Management and Economy: Economic and Financial Systems in Emerging Economies*.

Trabajos pioneros han sido publicados con la utilización de los Fuzzy Sets y entre ellos merecen ser destacados los siguientes:

- González Santoyo F., Flores Romero J., Flores Romero B. (2000). La Incertidumbre en la Evaluación Financiera de Empresas. UMSNH-FeGoSa-Ingeniería Administrativa. Morelia México.
- Medina León A., González Santoyo F., Martínez F.A. (2002). Técnicas de Análisis Empresarial en la Certeza e Incertidumbre. UMSNH-México- Universidad de Matanzas “Camilo Cien Fuegos” Cuba.

- González Santoyo F., Terceño Gómez.A: Flores R. B., Díaz O. R. (2005). *Decisiones Empresariales en la Incertidumbre (Casos de Aplicación)*. Universitat Rovira i Virgili (España) – UMSNH (México), FeGoSa – Ingeniería Administrativa.
- González S.F, Flores B., Gil Lafuente Anna María. (2010). *Modelos y Teorías Para la Evaluación de inversiones Empresariales*. UMSNH-I. Academia Iberoamericana de Doctores. Morelia. México.
- Rubén Chávez Rivera, Federico González Santoyo, Patricia Hernández Ojeda (2011). *La optimización del capital humano con números borrosos*. Morelia México.
- González Santoyo F., Flores R.J., Flores R.B, Mendoza R.J. (2001). *Múltiple Fuzzy IRR in the financial decision environment* pp. 223-237. en la obra *Fuzzy Sets in Management, Economics and Marketing*. Editors. C. Zopounidis, Panos M. Pardalos, George Baourakis. World Scientific.- Inglaterra, entre otros.

Dichos libros han sido la base para apoyar la enseñanza de Fuzzy Logic en distintos centros educativos del país, así como para difundir y promover esta nueva vía hacia el conocimiento.

En este empeño ha contribuido también la publicación de 30 artículos de especialización basados en diversos aspectos de las lógicas borrosas, desde 1999 hasta la fecha, en la revista⁴ *Ciencias Empresariales* de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

De igual forma, en la revista⁵ *Anales Científicos* de la Ilustre Academia Iberoamericana de Doctores (IAIDRES), desde 2012 hasta la actualidad, se han publicado 12 trabajos especializados a partir de técnicas borrosas.

No menor importancia merece la elaboración y defensa con resultado de éxito de 12 Tesis de Doctorado en Ciencias y 8 de Maestría del equipo de trabajo de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, del Instituto Iberoamericano de Desarrollo Empresarial y de la Ilustre Academia Iberoamericana de Doctores, basadas todas ellas en la lógica borrosa.

Hasta aquí una breve descripción de la labor realizada en México por los precursores y posteriores equipos que se iniciaron en las lógicas borrosas en las fuentes de la Escuela Española de Economía Borrosa.

Para el equipo de investigación de México, no queda más que hacer un alto y merecido reconocimiento a los formadores y precursores de esta área del conocimiento aplicada a las ciencias Económicas y Empresariales como lo es el Maestro, Prof. Dr. Jaime Gil Aluja, el Amigo y Maestro Dr. Antonio Terceño Gómez y la amiga y excepcional investigadora Dra. Ana María Gil Lafuente.

Ellos son pilares de inagotable paciencia y sabiduría, que han proporcionado base de conocimiento en lógica borrosa a este equipo de trabajo de forma desinteresada y con un alto espíritu de ayuda. Han transmitido sus conocimientos, lo que enaltece y permite que nuestra comunidad académica y de investigación crezca y se forme como seres humanos más felices y competitivos en su ámbito de desarrollo. El humanismo económico empieza a desarrollarse con ellos en este gran país que es México.

Citas bibliográficas.

1. González Santoyo F., Flores R.J. (1999). *VI Congress of International Society for Fuzzy Management and Economy: Dealing with Uncertainty in the Enterprise Challenges*. SIGEF, Facultad de Contabilidad y Administración de la UMSNH. Morelia Méx.

2. Gil Aluja J., González S.F., Flores R.B., Flores R.J. (2005). *Techniques and Methodologies for Modelling and Simulation of Systems*. AMSE-FeGoSa-Ingeniería Administrativa S.A: de C.V., UMSNH.
3. González S.F., Flores R.B., Terceño G.A. (2010). *XVI Congress of SIGEF: Economic and Financial Systems in Emerging Economies*. UMSNH, Fegosa- Ing. Adva. S.A. de C.V., CIDEM.
4. Revista. *Ciencias Empresariales* # 2 a la 30. FCCA-UMSNH. Morelia México. www.iaidres.org.mx.
5. Revista. *Anales Científicos de la Ilustre Academia Iberoamericana de Doctores*. Morelia Méx. www.iaidres.org.mx.

LA INVESTIGACIÓN FUZZY EN CHILE

José M. Merigó y Carolina Nicolas

Chile es una de las economías de más rápido crecimiento en Latinoamérica (Banco Mundial⁵). Su inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) es 0,39% del PIB (OCDE según datos 2015), muy por debajo del promedio de los países de OCDE. En los últimos cinco años, sus políticas han reaccionado creando un plan de innovación 2014-2018, incrementando el financiamiento público a I+D aplicada.

Al realizar un análisis de la investigación *fuzzy* en Chile, se observa que ha progresado significativamente a lo largo del tiempo. Los primeros trabajos surgen en los noventa, con la excepción de un trabajo pionero en 1988. A lo largo del tiempo, el número de artículos publicados anualmente ha crecido. Al día de hoy (agosto de 2018), en la base de datos de *Web of Science Core Collection*, aparecen 457 trabajos con afiliación chilena. De estos trabajos, 284 son artículos, 6 son revisiones, 3 materiales editorial y 178 trabajos de conferencias. La siguiente grá-

⁵ <http://www.bancomundial.org/es/country/chile/overview>

fica muestra el número de trabajos anuales publicados a lo largo del tiempo (ver Figura 1).

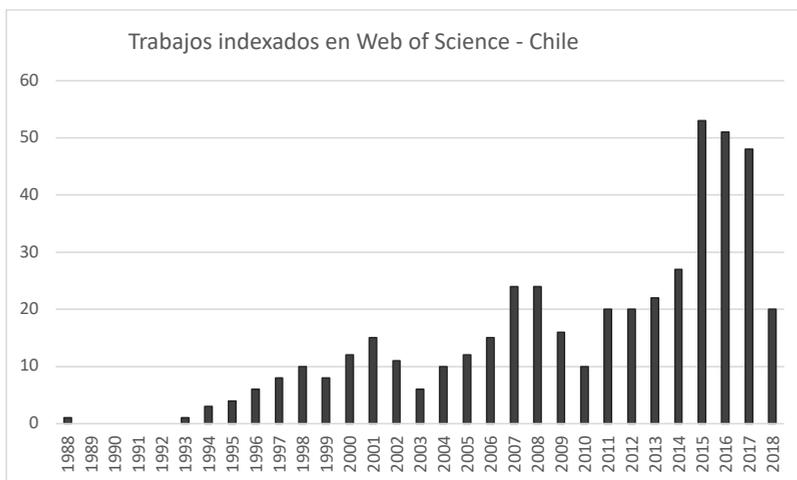


Figura 1. Trabajos indexados en Web of science (WoS) con afiliación Chile.
Fuente: Elaboración propia basada en WoS.

Hay que hacer referencia a la investigación *fuzzy* en Chile con formación en Universidad de Barcelona.

Por orden de llegada a Chile, se menciona primero a la doctora Carolina Nicolas, licenciada por la Universidad de Concepción (Chile), quien decidió realizar su doctorado en la Universidad de Barcelona en 2004, donde tomó contacto con la Doctora Anna María Gil Lafuente, quién la introdujo en las metodologías basadas en *fuzzy logic*, que luego desarrolló durante su doctorado en dirección de empresa, especialidad marketing, bajo la guía del Doctor Jaume Gil Lafuente, con quien profundizó en el conocimiento del desarrollo de indicadores de gestión difusos (*Fuzzy Key Performance Indicators*). A partir de su regreso a Chile en 2009, la profesora Nicolas continuó desarrollando estas meto-

dologías con sus equipos de investigación chilenos e internacionales, logrando adaptarlas a la gestión de la experiencia de los clientes, así como estudios de ética empresarial. Algunos de sus trabajos:

- Valenzuela-Fernandez, L., Nicolas, C., Gil-Lafuente, J., Merigó, J.M. (2016). Fuzzy indicators for customer retention, *International Journal of Engineering Business Management*, 8. doi: 10.1177/1847979016670526.
- Nicolás, C.; Gutiérrez, A. y Gil_ Lafuente, J. (2014). Indicadores Éticos Difusos en Marketing. Recta. Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. 15. 1-12.
- Nicolás A., C; Salgado B., L.; Gil-Lafuente, J.(2013). Nuevas metodologías para segmentar al consumidor de productos orgánicos. *World of Business Ideas*. 56-62.
- Nicolás C., Gil J. (2012). Customer experience assessment: forgotten effects. *Journal of Computational Optimization in Economics and Finance*, 6, 77-88.

Luego, en el año 2014, llega el profesor José M. Merigó a la Universidad de Chile, también con su formación en *fuzzy logic* en la Universidad de Barcelona, después de obtener su título de Doctorado bajo la dirección de la Dra. Anna Maria Gil Lafuente. Tras su llegada la investigación *fuzzy* en Chile se ha potenciado significativamente. Por un lado, muchos nuevos grupos de investigación han empezado a estudiar diferentes temas de investigación en este ámbito. Se han publicado 3 artículos con afiliación chilena que ya han recibido el reconocimiento de artículos altamente citados en *Web of Science* e indexados en el *Essential Science Indicators* (Top 1% más citado de la *Web of Science*). A continuación, se muestran estos 3 trabajos:

1) H.C. Liao, Z.S. Xu, X.J. Zeng, J.M. Merigó, Qualitative decision making with correlation coefficients of hesitant fuzzy linguistic term sets, *Knowledge-Based Systems*, 76 (2015) 127-138.

- Según la *Web of Science*, este es el 106 artículo más citado del mundo en 2015 en la categoría de “*Computer Science, Artificial Intelligence*” (106 de 50075 documentos).

- Segundo artículo más citado en 2015 en América Latina y primero en Chile en CS-AI.

2) J.M. Merigó, A.M. Gil-Lafuente, R.R. Yager, An overview of fuzzy research with bibliometric indicators, *Applied Soft Computing*, 27 (2015) 420–433.

- Según la *Web of Science*, este es el 60 artículo más citado del mundo en 2015 en la categoría de “*Computer Science, Interdisciplinary Applications*” (60 de 39068 documento).

- Segundo artículo más citado en 2015 en América Latina y primero en Chile en CS-Int. App.

3) P.D. Liu, J.L. Liu, J.M. Merigó, Partitioned Heronian means based on linguistic intuitionistic fuzzy numbers for dealing with multi-attribute group decision making, *Applied Soft Computing*, 62 (2018) 395–422.

- Muy reciente y prematuro, pero según *Web of Science*, es el séptimo artículo más citado del mundo en 2018 en la categoría de “*Computer Science, Interdisciplinary Applications*” (7 de 12119 documentos).

- Artículo más citado en 2018 en América Latina en *Computer Science*.

Cabe destacar que en la actualidad hay 4 trabajos sobre temas *fuzzy* con afiliación chilena que han recibido el reconocimiento de *Highly Cited Paper*, de los cuales 3 son los trabajos mencionados anteriormente del profesor Merigó.

Además de estos trabajos, el profesor Merigó ha fomentado el desarrollo de nuevos grupos de investigación sobre temas *fuzzy* en diferentes países de América Latina. Fruto de estas colaboraciones, ya han surgido algunas publicaciones en revistas internacionales indexadas en *Web of Science*:

- 1) F. Blanco-Mesa, J.M. Merigó, J. Kacprzyk, Bonferroni means with distance measures and the adequacy coefficient in entrepreneurial group theory, *Knowledge-Based Systems*, 111 (2016) 217-227.
- 2) L. Valenzuela-Fernandez, C. Nicolas, J. Gil-Lafuente, J.M. Merigó, Fuzzy indicators for customer retention, *International Journal of Engineering Business Management*, 8 (2016) doi: 10.1177/1847979016670526.
- 3) F. Blanco-Mesa, J.M. Merigó, A.M. Gil-Lafuente, Fuzzy decision making: A bibliometric-based review, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(3) (2017) 2033-2050.
- 4) S. Laengle, G. Loyola, J.M. Merigó, Mean-variance portfolio selection with the ordered weighted average, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(2) (2017) 350-362.
- 5) F. Blanco-Mesa, A.M. Gil-Lafuente, J.M. Merigó, Aggregation operators for decision-making in entrepreneurship: An application in sport business, *Technological and Economic Development of Economy*, 24(2) (2018) 335-357.

- 6) E. León-Castro, E. Avilés-Ochoa, J.M. Merigó, A.M. Gil-Lafuente, Heavy moving averages and their application in econometric forecasting, *Cybernetics & Systems*, 49(1) (2018) 26–43.
- 7) S. Maldonado, J.M. Merigó, J. Miranda, Redefining support vector machines with the ordered weighted average, *Knowledge-Based Systems*, 148, (2018) 41–46.
- 8) E. Avilés-Ochoa, E. León-Castro, L.A. Pérez-Arellano, J.M. Merigó, Government transparency measurement through prioritized distance operators, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 34 (2018) 2783-2794.
- 9) V.G. Alfaro-García, J.M. Merigó, A.M. Gil-Lafuente, J. Kacprzyk, Logarithmic aggregation operators and distance measures, *International Journal of Intelligent Systems*, 33(7) (2018) 1488–1506.
- 10) E. León-Castro, E. Avilés, J.M. Merigó, Induced heavy moving averages, *International Journal of Intelligent Systems*, 33(9) (2018) 1823–1839.
- 11) F. Blanco-Mesa, E. León-Castro, J.M. Merigó, Bonferroni induced heavy operators in ERM decision-making: A case on large companies in Colombia, *Applied Soft Computing*, 72 (2018) 371-391.
- 12) V. Alfaro-Garcia, J.M. Merigó, L. Plata-Perez, G.G. Alfaro-Calderon, A.M. Gil-Lafuente, Induced and logarithmic distances with multi-region aggregation operators, *Technological and Economic Development of Economy*, (2018) forthcoming.

Por último, cabe destacar que el profesor Merigó ha sido un pionero a nivel mundial en la preparación de estudios bibliométricos para revistas internacionales, entre las cuales se encuentran muchas de las principales revistas en el ámbito *fuzzy*. A continuación, se muestran algunos de los trabajos publicados en este contexto, como:

- 1) J.M. Merigó, F. Blanco-Mesa, A.M. Gil-Lafuente, R.R. Yager, Thirty years of the International Journal of Intelligent Systems: A bibliometric review, *International Journal of Intelligent Systems*, 32(5) (2017) 526-554.

La escuela creada a finales de los años 80 en la Universidad de Barcelona de la mano del Prof. Gil Aluja muestra una trayectoria exponencial, no solo en el ámbito geográfico (muchas universidades chilenas, tanto de titularidad pública como privada, están convergiendo en esta línea de trabajo que se está convirtiendo en un pilar fundamental en la actividad investigadora del país), sino también desde el punto de vista de los ámbitos de investigación. Una disciplina iniciada en el ámbito económico está ampliando sus aplicaciones en otras disciplinas gracias a las especificidades de las lógicas *fuzzy*.

Por otro lado, la red de colaboraciones y coautorías de todos los trabajos que se van publicando va ampliando horizontes. Se observa que los investigadores que colaboran en un mismo trabajo pertenecen, no solo a diferentes universidades, sino a diferentes países. Este es el éxito de la escuela de la Universidad de Barcelona y la rica herencia investigadora que nos ha legado.

Con todos estos resultados, es evidente que la investigación *fuzzy* en Chile se está potenciando mucho y se espera que siga destacando en el futuro, con la creación de nuevos grupos de investigación y la aparición de nuevos investigadores, en todas las universidades del país.

Como conclusión, podríamos establecer que las investigaciones *fuzzy* en Chile se encuentra en una etapa de crecimiento, lo que hace pensar en la posibilidad de creación de futuras líneas de investigación que profundicen en esta área. Esto va acompañado del levantamiento de nuevos grupos de investigación e investigadores a nivel nacional, motivados por el trabajo en equipo y la cooperación.

ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE LA LÓGICA FUZZY EN ARGENTINA

Luisa L. Lazzari

El estudio de la Teoría de conjuntos borrosos se inició en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires en agosto de 1986, cuando el Dr. Emilio A. M. Machado, titular de Análisis Matemático de esta Facultad impartió el cursillo “Matemática Borrosa”.

Se basó en dos libros que le había enviado su hijo, que vivía en el exterior, *Introduction a la Theorie des Sous-Ensembles Flous a L’Usage des Ingenieurs* de Arnold Kaufmann editado por Masson, S.A., Paris en 1973 e *Introduction to Fuzzy Arithmetic. Theory and Applications*, de A. Kaufmann y M. Gupta, editado por Van Nostrand Reinhold, New York en 1985.

Ese primer contacto con la teoría de los conjuntos borrosos me “cautivó” y a partir de allí seguimos con el Dr. Machado estudiando el tema y dando cursillos para su difusión. En el año 1989 publicamos nuestro primer artículo “La matemática borrosa o difusa”, en la Revista del Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA). La edición de este libro fue la continuación de una primera publicación, en 1986, de una obra titulada *Introducción de la Teoría de los subconjuntos borrosos en la gestión de las empresas* cuya autoría era de los Prof. Kaufmann y Gil

Aluja, este último catedrático de la Universidad de Barcelona. Precisamente de su mano surgió una potente escuela en Barcelona que daría frutos en el mundo entero. Actualmente muchos grupos de investigación de numerosos países trabajan sobre estas técnicas, mejorándolas y dotándolas de valor y aplicación.

Posteriormente, basándonos en el libro *Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre* de los doctores Arnold Kaufmann y Jaume Gil Aluja (1987, Editorial Hispano Europea, Barcelona) y en otros de los mismos autores desarrollamos el trabajo “Aplicaciones de la Matemática Borrosa: Selección de Personal y Presupuesto Base Cero Borroso”, que presentamos en el año 1990 en las Jornadas sobre Matemática Borrosa realizadas en la Academia de Ciencias de Buenos Aires. En esa oportunidad tuvimos el placer de intercambiar ideas y opiniones con otros investigadores de *fuzzy logic* de Buenos Aires, entre ellos el Dr. Marín, que se dedicaba a la programación lineal borrosa y el Ing. Bignoli, que estaba abocado a las aplicaciones de la lógica *fuzzy* a las estructuras.

Posteriormente se incorporó a nuestro grupo el Dr. Rodolfo Pérez, titular de *Teoría de la decisión* - quien llegaría a ser Decano de la Facultad en marzo de 1994 y Rector de la Universidad de Buenos Aires- que estaba muy interesado en las aplicaciones de la nueva teoría a la Administración.

Bajo su dirección y la del Dr. Machado presentamos el primer proyecto de investigación sobre “Aplicaciones de la matemática borrosa a la resolución de problemas de Administración y Economía”, de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, correspondiente a la programación científica 91-93.

En el año 1991 impartimos el primer seminario sobre “Técnicas de Gestión para el Tratamiento de la Incertidumbre” del Programa de Doc-

torado para la orientación Administración, de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires que continuamos ofreciendo hasta diciembre de 1995.

En las clases empleamos una moderna metodología para esa época, que consistía en proyectar el esquema de las mismas, mientras los alumnos disponían de notas impresas con los contenidos a exponer. Para ello diseñamos un material especial que luego sería publicado por la Facultad en el año 1993 bajo el título *Técnicas de Gestión para el Tratamiento de la Incertidumbre*, que estaba acompañado de un software especialmente desarrollado para operar con números borrosos y realizar algunas aplicaciones que se daban en los cursos.

Ese mismo año presentamos en la EXPOCIENCIA 91 de la UBA el panel sobre el tema: “Modelos para la investigación de efectos olvidados” que fue premiado con una mención al mérito por sus valores de comunicación y divulgación científica. Estos logros se alcanzaron gracias al acceso que tuvimos a una genial obra de los profesores Kaufmann y Gil Aluja, publicada en 1988 y titulada *Modelos para la investigación de efectos olvidados*. Las técnicas gestadas en esta obra han tenido un largo y extenso recorrido a lo largo de los últimos 30 años, publicándose numerosos libros, artículos en revistas indexadas, informes, tesis doctorales, etc. con variantes y ampliaciones de esta teoría que la han hecho aplicable a numerosos ámbitos científicos. Muchos de estos desarrollos han sido encabezados por la Prof. Anna María Gil Lafuente, catedrática de la Universidad de Barcelona, quien ha realizado investigaciones, junto a otros autores, en ámbitos tan diversos como las finanzas, la macroeconomía, la medicina, el marketing, los recursos humanos, la dirección estratégica, solo para señalar algunos.

En el año 1992 establecimos contacto con el Prof. Jaume Gil Aluja, nuestro maestro, quien muy amablemente aceptó venir a la Argentina a darnos un seminario sobre aplicaciones de la nueva teoría a la gestión y

economía. El seminario “Nuevas Técnicas para la Dirección Estratégica” fue impartido en nuestra Facultad por el Prof. Dr. Jaime Gil Aluja, Catedrático de la Universidad de Barcelona en noviembre de 1993. Ese fue el comienzo de una profunda colaboración y amistad entre el distinguido investigador y los integrantes de nuestro grupo, conocido como grupo de Buenos Aires.

En el año 1993 iniciamos el dictado de cursos de la Secretaría de Posgrado sobre la novedosa temática, a los que asistían egresados de diferentes carreras universitarias, atraídos por las numerosas aplicaciones de la teoría de conjuntos borrosos que fueron surgiendo en todo el mundo.

En septiembre de 1994 asistimos el curso “Temas Teóricos y Prácticos de Lógica Difusa”, impartido por el Prof. Dr. Enrique Ruspini del Artificial Intelligence Center de USA, en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Allí tomamos contacto con el Lic. Igor Zwir que integraba un grupo de investigación sobre lógica *fuzzy* en esta Facultad y con la Lic. Diana Brignole y el Dr. Hernán Vigier integrantes del grupo de *fuzzy logic* de la Universidad del Sur, en la ciudad de Bahía Blanca.

El 13 de octubre de 1994 en el Instituto de Investigaciones en Estadística y Matemática Actuarial de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires, por iniciativa del Dr. Machado y el apoyo del Decano de la Facultad Dr. Rodolfo H. Pérez, fue creado el Centro de Investigación en Metodología Borrosa Aplicada a la Gestión y Economía (CIMBAGE) “Arnold Kaufmann”, nombre que se le impuso como homenaje al brillante profesor e investigador, pionero en el estudio de la lógica borrosa fallecido ese año. El Dr. Machado fue designado director.

En CIMBAGE se diseñaban y transferían métodos *fuzzy*, en particular, a la gestión y economía, se formaban becarios, pasantes, docentes e investigadores especializados. Se desarrollaban proyectos de investi-

gación, se escribían y publicaban artículos, libros y capítulos de libros, se impartían cursos y talleres, se realizaban actividades de difusión y extensión, se dirigían tesis de grado, de posgrado y doctorado de la UBA y de otras Universidades. Se organizaron Jornadas y un Congreso.

A lo largo de los años recibimos visitas de notables investigadores de *fuzzy logic*, que impartieron Seminarios y Conferencias, entre otros el Dr. Elie Sanchez del Laboratoire d'Informatique Biomathematiques et Informatique Medicale, Faculte de Medecine, Universite Aix-Marseille. También nos visitaron para hacer sus estancias en CIMBAGE el Dr. Ángel Gento (de España) y el Dr. Jesús Domech (de Brasil).

En noviembre de 1994 asistimos al primer Congreso de la *Sociedad Internacional de Gestión y Economía Fuzzy* (SIGEF) en Reus, Tarragona, España, donde presentamos el trabajo “Teoría de la decisión en condiciones de incertidumbre –*Fuzzy decision*–” realizado en colaboración con los Doctores Machado y Pérez y establecimos vínculos con prestigiosos investigadores de estos temas provenientes de diferentes países.

Desde el primer cuatrimestre de 1995 y hasta el segundo de 1998 impartimos el Curso de Doctorado “Teoría de la decisión borrosa” de la orientación Administración, en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires.

Ese mismo año el Proyecto de investigación “Aplicaciones de la Matemática Borrosa a temas de Gestión y Economía”, dirigido por los profesores Machado y Pérez, fue seleccionado como uno de los siete mejores Proyectos de Investigación presentados en EXPOCIENCIA 95 realizada en la Facultad de Derecho de la UBA y fue premiado con una Estatuilla de bronce y plata.

En noviembre de 1996 se realizó en Buenos Aires el III Congreso de SIGEF, organizado por CIMBAGE y la Facultad de Ciencias Econó-

micas de la UBA. Asistieron investigadores ilustres, como el Dr. Jaime Gil Aluja, de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España y presidente de SIGEF; el Dr. Enrique Ruspini, del Artificial Intelligence Center, SRI International, Menlo Park, California; el Dr. Enric Trillas, de la European Centre of Soft Computing, España y el Dr. George Klir, del Center of Intelligent Systems, Universidad de Binghamton, New York, que nos brindaron conferencias interesantes. Se presentaron numerosos trabajos de distintos investigadores de universidades nacionales y del exterior y disfrutamos de actividades culturales. Fue precisamente en este congreso en donde el Profesor Gil Aluja enunció uno de los elementos fundamentales de toda la teoría de los Subconjuntos Borrosos: *el principio de la simultaneidad gradual* en contrapunto con el *principio del tercio excluso* cuya estructura teórica y metodológica habían regido la matemática clásica. Este planteamiento ha representado el inicio de la axiomática de la matemática de la incertidumbre. A partir de este momento la expansión de estas técnicas sería exponencial.

En 1998 bajo la dirección del Dr. Machado se creó Cuadernos del CIMBAGE, pensada desde su inicio como una publicación de acceso abierto, para cumplir con el objetivo de difundir trabajos que reflejaran la actividad científica del Centro y de investigadores de distintas unidades académicas.

Su propósito fue aumentar la comprensión y difusión de aplicaciones innovadoras de estos temas promoviendo la colaboración y el intercambio entre matemáticos, filósofos, epistemólogos, científicos sociales y especialistas en ciencias económicas (actuarios, administradores, contadores y economistas). A partir del número dos se incorporaron artículos de autores o coautores externos a la Facultad, de universidades nacionales y extranjeras, convirtiéndose en una revista muy reconocida especializada en temas de lógica *fuzzy* y sus aplicaciones.

Ese año tomamos contacto con el Dr. Renato Scarparo de la Universidad Nacional de Rosario, que trabajaba en Topología borrosa y se incorporó a nuestros proyectos.

En el año 2000 el Dr. Machado renunció a la dirección de CIMBAGE y de Cuadernos, quedando ambas direcciones a mi cargo.

En julio de 2001, fui designada Profesora Titular de la Cátedra de Análisis Numérico Avanzado, materia optativa de la Carrera de Actuario, cuyos contenidos incluían modelos clásicos y *fuzzy*, y su contrastación.

Ese año impartimos en la Facultad, junto con la Lic. Patricia Moulia, el curso *Los conjuntos borrosos y su aplicación a la programación lineal*, donde presentamos los resultados del primer proyecto de Investigación que dirigí “Programación matemática *fuzzy* y sus aplicaciones a la gestión y economía” de la programación científica 1998-2000 de la UBA. Asistieron profesores de distintas especialidades y de otras facultades de la UBA, muy interesados en los nuevos desarrollos. Se les entregó como material de estudio el libro de nuestra autoría *Los conjuntos borrosos y su aplicación a la programación lineal. La programación lineal fuzzy*, recién editado por la Facultad, que se agotó rápidamente dado que era el primero en lengua española que abordaba el tema.

Ese mismo año se incorporó a nuestro grupo de trabajo el Ing. Germán Camprubi de la Universidad Nacional del Nordeste y fui designada directora de su proyecto “Aplicaciones de nuevas técnicas de investigación de mercados en Pymes y Mipymes de Presidencia Roque Sáenz Peña” de la Secretaria General de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, (Provincia de Chaco) programación 2001 – 2004.

Avanzando en nuestro estudio de los conjuntos borrosos, en 2003 publicamos junto con la Lic. María Silvia Moriñigo el libro *Ecuaciones*

con coeficientes borrosos y aplicaciones, editado por la Facultad de Ciencias Económicas de la UBA e impartimos un curso sobre el tema.

En diciembre de 2004 recibí un Premio de la Universidad Nacional del Nordeste en la Categoría Servicios - Vinculación para la Innovación y el Desarrollo Socio-Productivo –en calidad de directora del Proyecto de Investigación “Aplicaciones de nuevas tecnologías de investigación de mercados en Pymes y Mipymes de Presidencia Roque Sáenz Peña”.

En abril de 2005 recibimos el Segundo Premio Nacional de Economía de la Secretaría de Cultura de la Presidencia de la Nación, producción 1996/1999, otorgado por la obra *Teoría de la decisión fuzzy*, que escribimos con el Dr. Machado y el Dr. Pérez, publicado en 1998 por Macchi Grupo Editor S. A. de Buenos Aires. Lamentablemente el Dr. Pérez había fallecido en octubre del 2003.

El 2005 impartí el curso de posgrado “Los conjuntos borrosos: una herramienta para la toma de decisión en condiciones de incertidumbre”, al que asistieron investigadores de la Universidad Nacional del Comahue que me solicitaron ser asesora externa del Proyecto de investigación “Análisis y evaluación del riesgo en problemas de ingeniería mediante lógicas alternativas” de la Facultad de Ingeniería de esa universidad nacional.

En noviembre de 2005 todos los integrantes de CIMBAGE asistimos al XII Congreso de SIGEF realizado en la Universidad Nacional del Sur, en la ciudad de Bahía Blanca, donde presentamos varios trabajos.

Entre 2009 y 2011 dirigí el proyecto “Turismo joven en Argentina: estudio del conjunto de consideración de los destinos elegidos”, de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de la Secretaría para la Tecnología, la Ciencia y la Innovación Productiva. Aplicamos un modelo de comportamiento del consumidor fuzzy que nos permitió

estimar la demanda de destinos turísticos de Argentina en vacaciones de invierno y verano. Se realizaron encuestas a jóvenes de doce Universidades Nacionales de Argentina. Los resultados quedaron plasmados en tres reportes de investigación: Turismo joven en Argentina, primer reporte (2010), segundo reporte (2011) y tercer reporte (2012).

Desde el año 2009 hasta 2016 impartí el Seminario del Programa de Doctorado, Área Cuantitativa, orientación Economía y Contabilidad, de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires “Modelos matemáticos para la toma de decisión en condiciones de incertidumbre”.

En el año 2010 el Fondo Editorial del Consejo Profesional de Ciencias Económicas – EDICON publicó el libro *El comportamiento del consumidor desde una perspectiva fuzzy. Una aplicación al turismo*, del cual soy autora.

En 2012 se doctoró bajo mi dirección la Lic. María José Fernández, el tema de su tesis fue *Medidas de pobreza. Un enfoque alternativo*. Desde septiembre de 2015 es Investigadora Asistente del CONICET, continuando con el tema de indicadores de pobreza con un enfoque *fuzzy*.

En enero de 2016 recibí el beneficio de la jubilación y me desvinculé de CIMBAGE y de Cuadernos. En junio de 2017 fui designada Profesora Consulta Titular de la Universidad de Buenos Aires.

En la actualidad soy investigadora asociada *ad-honorem* del Instituto Interdisciplinario de Economía Política (IIEP-BAIRES) de la Facultad de Ciencias Económicas, UBA – CONICET. Estamos trabajando con los números Z , definidos por Zadeh en 2011 a efectos de formalizar la notable habilidad humana para tomar decisiones racionales en entornos de incerteza e imprecisión. Estos números proporcionan una evaluación borrosa y una idea de su confiabilidad.

Reflexión final

Hace ya casi medio siglo que Lotfi A. Zadeh publicó su fundamental trabajo “Fuzzy Sets”. El mensaje que contiene sigue vivo y, lo más importante quizás, sigue siendo útil para despertar conciencias dormidas, y para iluminar nuevas rutas hacia un mejor conocimiento de los fenómenos físicos, biológicos y sociales.

Para quienes, han dedicado una parte muy importante de su actividad científica a intentar comprender, explicar y tratar adecuadamente las realidades económicas y de gestión, la obra de Zadeh significó un impulso decisivo todavía vigente.

Estos han sido los inicios y los primeros pasos de la “Escuela Española de Lógica Borrosa”. Los trabajos de investigación, ponencias y publicaciones realizadas durante todos estos años son la demostración de que el testigo de la lógica borrosa, la ciencia y el conocimiento sigue en las mejores manos para la consecución de un mundo mejor, un mundo más justo, más libre y más solidario.

Después de apreciar la evolución de la Escuela Española de Economía Borrosa, puede afirmarse, sin ninguna duda, que fue la precursora del desarrollo de esta importante rama del saber.

Sin embargo, en otros países han surgido seguidores que han potenciado la utilización de la Fuzzy Sets en numerosos ámbitos de la sociedad.

Hemos planteado unos breves testimonios de quienes han iniciado en otros varios países una nueva vía del conocimiento económico, que ha abierto un amplio espacio para ir resolviendo aquellos problemas, hasta ahora sin resolver, haciendo intervenir en sus trabajos razón y sentimiento; sin prescindir de sensibilidades, sin excluir las pasiones que acompañan a las razones, sin simplificaciones que condicionan a extremismos dolosos, sin convertir al humano en un robot. Haciendo, al fin, del humanismo la razón de ser de la ciencia económica.

ANEXOS

1. Datos SIGEF

FER

Total N° FER: 46

Total N° artículos publicados: 209

Total autores: 337 (sin duplicados)

País	Total autores
ALGERIA	2
ARGENTINA	25
AZERBAIJAN	2
BRAZIL	6
BULGARIA	1
BYELORUSSIA	3
CANADA	4
CHILE	2
COLOMBIA	2
CZECH REPUBLIC	2
DENMARK	1
DUBAI	1
ECUADOR	1
FINLAND	7
FRANCE	15
GERMANY	1
GREECE	23
IRAN	8
ISRAEL	6
ITALY	42

País	Total autores
JAPAN	11
MEXICO	24
PAKISTAN	4
POLAND	4
PORTUGAL	1
ROMANIA	9
RUSSIA	4
SERBIA AND MONTENGRO	2
SINGAPORE	2
SPAIN	98
THE NETHERLANDS	2
TURKEY	3
UKRAINE	1
UNITED KINGDOM	5
USA	13
Total	337

CONGRESOS

Listado de congresos:

Congrés	Ciutat	País	Total comunicacions	Any
1st	REUS	SPAIN	31	1994
2nd	SANTIAGO DE COMPOSTELA	SPAIN	60	1995
3rd	BUENOS AIRES	ARGENTINA	66	1996
4th	SANTIAGO DE CUBA	CUBA	14	1997
5th	LAUSANNE	SWITZERLAND	32	1998
6th	MORELIA	MEXICO	30	1999
7th	CHANIA	GREECE	72	2000
8th	NAPOLI	ITALY	84	2001
9th	MÉRIDA	VENEZUELA	23	2002
10th	LEÓN	SPAIN	86	2003
11st	MESSINA AND REGGIO CALABRIA	ITALY	33	2004
12th	BAHÍA BLANCA	ARGENTINA	52	2005
13th	HAMMAMET	TUNISIA	14	2006
14th	POIANA BRASOV	RUMANIA	42	2007
15th	LUGO	SPAIN	30	2009
16th	MORELIA	MEXICO	71	2010
17th	REUS	SPAIN	42	2012
18th	GIRONA	SPAIN	54	2015
19th	NEW ROCHELLE NY	USA	28	2017

Total comunicacions: 864 papers

Total autores: 917 (sin duplicados)

Detalle por países (no se tiene información de 197 autores):

Países	Total autores
ARGENTINA	78
AUSTRALIA	4
AZERBAIJAN	1
BRAZIL	17
BULGARIA	2
BYELORUSSIA	8
CANADA	2
CHILE	2
CHINA	2
COLOMBIA	2
CUBA	10
CZECH REPUBLIC	2
DENMARK	1
FINLAND	3
FRANCE	14
GERMANY	1
GREECE	49
INDIA	2
IRAN	3
IRELAND	1
ISRAEL	2
ITALY	101
JAPAN	9
MEXICO	52
MOLDOVIA	1
POLAND	7
PORTUGAL	2
ROMANIA	40

APORTACIONES ACADÉMICAS

Países	Total autores
RUSSIA	6
SERBIA AND MONTENGRO	2
SINGAPORE	2
SPAIN	259
SWITZERLAND	3
THE NETHERLANDS	4
TURKEY	4
UNITED KINGDOM	3
USA	13
VENEZUELA	5
YUGOSLAVIA	1
Total	720

LA ADOPCIÓN DE DECISIONES EN ENTORNOS INCIERTOS

DRA. ANNA MARIA GIL LAFUENTE
Académica de Número de la Real Academia de Ciencias
Económicas y Financieras
Catedrática de Universidad, Universidad de Barcelona

1. Introducción

Las constantes innovaciones tecnológicas que se producen en la sociedad moderna junto a la influencia que las políticas tienen sobre la economía contribuyen a que la incertidumbre sea un parámetro fundamental para la gestión y la toma de decisiones en la empresa.

Hasta hace algunas décadas la previsión de las variables y fenómenos que condicionaban el funcionamiento de la empresa resultaba relativamente previsible. La creciente globalización de las economías y los mercados han provocado una creciente incertidumbre y complejidad en los procesos de previsión y toma de decisiones. Las herramientas que habían tenido utilidad en entornos marcados por la estabilidad han dejado de ser representativas en contextos marcados por el continuo cambio y la creciente internacionalización. Con los modelos clásicos importados de las ciencias experimentales se hacía muy difícil, cuando no imposible, representar y explicar los fenómenos cada vez más complejos de las ciencias sociales en general y de la economía en particular. Los investigadores de todas las disciplinas observaron que con los modelos clásicos las evidencias se alejaban cada vez más de las previsiones realizadas *ex ante* y se hacía necesario implementar modelos y sistemas capaces de generalizar la capacidad de previsión a cualquier tipo de entorno y variable.

Desde una perspectiva general, el problema objeto de investigación se enmarca en la cuestión relativa a la adopción de decisiones en entornos inciertos. Desde los primeros trabajos publicados hasta la actualidad ha ido aumentando de forma exponencial el número de trabajos dedicados a los diferentes ámbitos del tratamiento de la incertidumbre en diferentes disciplinas. Especial interés revisten los trabajos iniciados en los años 90 por los científicos A. Kaufmann y J. Gil Aluja donde se han sentado las bases de la denominada matemática no numérica para el tratamiento de procesos tan relevantes como la relación, asignación, agrupación y ordenación, entre otros. Especial influencia en el desarro-

llo de esta parcela del conocimiento han tenido los trabajos de estos científicos dedicados al proceso de generalización de la noción de similitud, dando lugar al nacimiento de una nueva teoría de las afinidades.

La noción de afinidad surge a raíz de una ponencia que presentaron estos profesores en el IX Congreso Europeo de Investigación Operativa, recogida y ampliada posteriormente en los años 90 en otros trabajos. Su definición es la siguiente: “Definimos las afinidades como aquellas agrupaciones homogéneas a determinados niveles, estructuradas ordenadamente, que ligan elementos de dos conjuntos de distinta naturaleza, relacionados por la propia esencia de los fenómenos que representan”.

La teoría de los subconjuntos borrosos y la teoría de las afinidades junto con algunos elementos de combinatoria y topología aparecen como herramientas que tratan de ofrecer una visión más holística sobre la adopción de decisiones en un entorno de incertidumbre. Una de las aportaciones más importantes que ofrece es la posibilidad de construir modelos generalizados adaptados a la inestabilidad y la incertidumbre, capaces además de visualizar y proponer soluciones adecuadas a los objetivos propuestos.

Destacan técnicas bien conocidas tales como la teoría de las afinidades, las nociones de distancia, la formación de familias y los cierres de Moore. La teoría de afinidades, en particular, constituye una generalización de las relaciones de similitud, ampliando su operatividad hasta hace poco limitadas a las matrices cuadradas, al campo de las matrices rectangulares. Ello ha posibilitado ampliar su utilización a problemas propios del ámbito económico y empresarial. Además, se plantean métodos para establecer las agrupaciones afines como una de las formas más apropiadas del proceso de toma de decisiones.

En definitiva, el proceso de modelización de las lógicas de la incertidumbre tiene como objetivo establecer relaciones de pertenencia entre

variables cualitativas para establecer predicciones del comportamiento en las variables y su proyección.

El grado de pertenencia de los elementos a un cierto conjunto añade a las decisiones la capacidad de pensar en términos relativos, es decir, entre 0 o 1. Si bien la lógica clásica solo valoraba la pertenencia en términos binarios $\{0, 1\}$, las lógicas multivalentes introducen los matices en diferentes tipos de escalas, en diferentes grados de pertenencia, en el segmento $[0, 1]$.

Las sensaciones, las preferencias, los matices y todos los aspectos subjetivos que afectan y condicionan las variables y los fenómenos del entorno influyen y afectan a la toma de decisiones. Introducir estas informaciones subjetivas en los modelos y poder cuantificarlas es el objetivo de los investigadores. Una importante línea de trabajo se basa en la aplicación de funciones de pertenencia para poder estructurar y categorizar los fenómenos y variables como fundamento de la teoría de la decisión.

2. Antecedentes recientes de la Lógica Difusa

A principios del siglo XX, el filósofo y matemático británico *Bertrand Russell* divulgó la idea de que la lógica genera contradicciones. En esta línea desarrolló un estudio sobre las vaguedades del lenguaje, concluyendo con precisión que la vaguedad no es más que un grado. También en este tiempo *Ludwing Wittgenstein*, estudió las diferentes acepciones que tiene una misma palabra llegando a la conclusión de que en el lenguaje una misma palabra puede expresar matices incluso conceptos diferentes.

En 1920 Jan Lukasiewicz, desarrolló por primera vez la lógica de vaguedades. Para él los conjuntos tienen un posible grado de pertenencia con valores que oscilan entre 0 y 1, y en este intervalo existen infinidad de valores.

Pero quien acuñó el término “borroso/difuso” fue *Lofti Asker Zadeh* cuando en 1965 publicó el artículo “Fuzzy Sets” (Conjuntos Difusos). Las tesis que propone surgen de las aportaciones segmentadas de pensadores de distintas disciplinas que, como él, tenían una visión del mundo mucho más amplia y compleja de lo que era capaz de reflejar la lógica tradicional. La paradoja del conjunto de *Bertrand Russell*, el principio de incertidumbre de la física cuántica de *Werner Heisenberg*, la teoría de los conjuntos vagos de *Max Black* y la aportación de *Jan Lukasiewicz*, fueron decisivos para que Zadeh publicase sus investigaciones.

Al comienzo las ideas publicadas por *Zadeh* no calaron en la comunidad científica, pero con el tiempo comenzó a crear escuelas, lo que permitió que sus teorías se difundieran por diferentes ámbitos y se avanzara de forma exponencial en su conocimiento.

La intención de Zadeh era la creación de un formalismo para manejar de forma más eficiente la imprecisión del razonamiento humano. Es en 1971, cuando publica “*Quantitative Fuzzy Semantics*” en donde aparecen los elementos formales que dan lugar a la metodología de la Lógica Borrosa y de sus aplicaciones tal y como se conocen en la actualidad.

A partir de 1973, con la teoría básica de los controladores borrosos de Zadeh, otros investigadores comenzaron a aplicar la lógica borrosa a diversos procesos y ámbitos. Se establecen varios grupos de investigación en lógica difusa en algunas pequeñas universidades japonesas.

En 1974 *Assilian* y *Mamdani* en el Reino Unido desarrollaron el primer controlador difuso diseñado para la máquina de vapor. La implantación real de un controlador de este tipo no fue realizada hasta 1980 por F.L. Smidth & Co. en una planta de cemento en Dinamarca.

En 1987 *Hitachi* usa un controlador *fuzzy* para el control del tren de *Sendai*. Es también en este año cuando la empresa Omron desarrolla los

primeros controladores difusos comerciales y es que 1987 es considerado como el “*fuzzy boom*” debido a la gran cantidad de productos basados en Lógica Borrosa que se comercializan.

En 1993, Fuji aplica la Lógica Borrosa para el control de inyección química en plantas depuradoras de agua por primera vez en Japón. Ha sido precisamente aquí, donde más auge ha tenido la Lógica Borrosa, creándose estrechas colaboraciones entre el gobierno, las universidades y las industrias, desarrollando proyectos llevados a cabo por el Ministerio de Industria y Comercio (MITI) y la Agencia de Ciencia y Tecnología (STA) en consorcio con el *Laboratory for International Fuzzy Engineering Research* (LIFE).

De forma paralela al desarrollo de las aplicaciones de la lógica difusa, *Takagi* y *Sugeno* desarrollan la primera aproximación para construir reglas fuzzy a partir de datos de entrenamiento.

Otro factor decisivo para continuar las investigaciones en este campo es el interés en las redes neuronales biológicas y su semejanza con los sistemas fuzzy. Se buscan relaciones entre las dos técnicas obteniéndose como resultado los sistemas neuro-fuzzy, que usan métodos de aprendizaje basados en redes neuronales para identificar y optimizar sus parámetros. Para finalizar, aparecen los algoritmos genéticos que sumados a las redes neuronales y los sistemas *fuzzy* son herramientas de trabajo muy potentes en el campo de los sistemas de control.

En palabras de Zadeh (1977) “*El mundo actual es incierto e impreciso, los actos de los hombres y las relaciones entre ellos están afectadas por la vaguedad, es por esto por lo que la realidad no puede estudiarse en términos absolutos con técnicas aplicables a situaciones ciertas ni aun aleatorias. Casi toda la lógica del razonamiento humano no es la lógica clásica de dos valores, o incluso de varios, sino una lógica de verdades borrosas, de conjunciones borrosas, de reglas de deducción borrosas*”

En el ámbito de la economía y la gestión son los profesores Kaufmann y Gil Aluja quienes empiezan a desarrollar investigaciones a partir de 1980. Su primera publicación sale a la luz en 1986 bajo el título de *Aplicación de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas*. Fue el punto de inicio de una línea de trabajo que se ha expandido por grupos de investigación de todo el mundo y cada vez va generando mejores resultados y aplicaciones.

En sus estudios hacen hincapié en el hecho de distinguir lo medible de lo valuable. Las valuaciones son captadas a través de estimaciones numéricas subjetivas, puesto que en determinadas situaciones resulta difícil, cuando no imposible, conocer el número atribuible a un fenómeno o variable. El conocimiento de muchos problemas de gestión económico-financiera parte de la percepción de elementos inherentes al proceso. Es entonces cuando toma carta de relevancia la matemática de la incertidumbre con sus herramientas de cálculo que le son propias: intervalos de confianza, tripletas de confianza, números borrosos, técnicas de regresión borrosa, métodos de optimización borrosa, números híbridos o variables borroso-aleatorias (donde convergen aleatoriedad y borrosidad), grafos neuronales, alfa cortes, etc. Se trataba, en definitiva, de introducir elementos capaces de generalizar la teoría de la probabilidad, cuyo planteamiento se recoge y se describe en la paradoja de Borel-Kolmogorov (a veces conocida como paradoja de Borel) que relaciona la probabilidad condicional con respecto a un evento de probabilidad cero (también conocido como conjunto nulo).

Con estas propuestas se inicia el camino para dar respuesta a problemas que la estadística, en sus planteamientos axiomáticos, no ha sido capaz de resolver. Con la introducción de la fuzzy logic se abre la posibilidad de tratar y hacer converger en un mismo modelo lo incierto y lo aleatorio.

En el ámbito de la economía y las finanzas los mecanismos de la lógica borrosa adquieren relevancia para tratar los fenómenos y variables por las siguientes razones:

- *Razón probabilística.* La teoría estadística es frecuentista, y no aborda el cambio y la dependencia estructural futura de las variables que inciden sobre la economía y los negocios. La lógica borrosa evita la pérdida de información que se produce con el uso de métodos estadísticos que realizan manipulación numérica, puesto que trabajan con promedios, ocultando los valores extremos.
- *Razón informacional.* Los resultados probabilísticos de la gran mayoría de modelos económicos y financieros no incorporan información cualitativa de gran valor. La lógica borrosa permite superar la noción de extrapolación respecto a la manera en que los datos deben comportarse. Ello permite entender que las decisiones económicas y financieras no están afectadas por la diferencia entre el valor actual de la variable que se observa y algún valor teórico normativo de equilibrio. La lógica borrosa permite superar el enfoque binario de la noción de equilibrio (estás o no en equilibrio), para concebirlo como un planteamiento que presenta grados de pertenencia hacia las colas de la función de equilibrio absoluto, que son los extremos ideales. Esto permite entender que la realidad económica y financiera transcurre entre estos dos extremos opuestos entre los que toda la información se halla incluida.
- *Razón conductual.* Los seres humanos poseen racionalidad limitada y son proclives a la subjetividad. Ello crea una brecha entre las predicciones de los modelos “racionales” y de “equilibrio general”, de las observaciones de los hechos reales.

En este sentido, los modelos financieros borrosos aplicados a la planificación financiera y a la administración de portafolios de inversión resultan fundamentales básicamente por su utilidad para establecer rangos de incertidumbre, así como intervalos de riesgo–rentabilidad que permitan vincular razonablemente la optimización financiera con la formación de expectativas.

El desarrollo de la teoría de la decisión ha experimentado un desarrollo exponencial en el contexto de creciente incertidumbre. El desarrollo de la matemática no numérica de la incertidumbre ha permitido estructurar sus conceptos fundamentales en cuatro pilares (Gil Aluja, 1999):

1. Relación

Son procesos según los cuales se establece el grado de conexión entre elementos de un sistema. El conocimiento de este grado de conexión, vinculación o afectación entre las variables que forman parte de un entorno o sistema es fundamental para tomar decisiones. Todos los elementos y fenómenos se hallan más o menos conectados entre sí, como si de una red con interconexiones más o menos fuertes se tratara. Lo que trata de establecer la teoría de la relación es en qué medida un elemento, objeto o fenómeno incide, afecta o condiciona a los demás, bien sea de forma directa como de forma indirecta a través de elementos interpuestos. Conocer este grado de incidencia o afectación, en definitiva, relación, permite saber en qué medida la variación de un elemento del sistema afectará al resto de elementos.

2. Asignación

Se trata de procedimientos según los cuales el objetivo se basa en resolver problemas de adscripción de objetos, elementos o fenómenos de un conjunto a otros de otro conjunto. En las técnicas clásicas los planteamientos conseguían optimizar las asignaciones a nivel individual, pero no a nivel de sistema. Con la fuzzy logic se plantean modelos que generalizan los desarrollos clásicos y logran la optimización de las asignaciones a nivel de sistema. Con estas aportaciones se produce un salto cualitativo en los procesos de toma de decisiones, tanto si los fenómenos, elementos o variables son medibles a partir de datos objetivos, como si son estimables a partir de valoraciones subjetivas.

3. Agrupación

Las asociaciones o agregaciones de elementos, variables o fenómenos que comparten una serie de características, criterios o singularidades a un determinado nivel, forman parte de lo que se denomina agrupación. En este sentido la matemática no numérica de la incertidumbre ha dado un gran impulso a estas técnicas, permitiendo introducir matices como es el nivel de cumplimiento de las características, criterios y singularidades de los elementos susceptibles de ser agrupados o agregados, así como el concepto de umbral difuso para seleccionar aquellos elementos que eventualmente puedan llegar o no a pertenecer a un determinado grupo.

4. Ordenación

Los procesos de ordenación son aquellos en los que se busca establecer una jerarquía entre elementos pertenecientes a un sistema bajo unas determinadas condiciones o criterios. La fuzzy logic ha permitido ampliar las posibilidades que ofrecen los modelos de ordenación al incorporar las posibilidades de la matemática no numérica, los operadores de agregación, las variables lingüísticas, entre otros, con el fin de favorecer la toma de decisiones bajo los criterios que realmente se adaptan a la finalidad establecida por el decisor.

Descripción teórica de los elementos.

A continuación, se va a presentar una breve descripción de los elementos que posteriormente se usarán en la aplicación de la lógica difusa. Especialmente los elementos matemáticos de la incertidumbre.

Uno de los elementos principales de la teoría de los subconjuntos borrosos son los *intervalos de confianza*. Un intervalo de confianza recoge todo el posible rango de valores que puede tomar una variable o fenómeno.

Además de los intervalos de confianza podemos expresar la incertidumbre en forma de tripletas y cuádruplos de confianza. La triplete de confianza es una información incierta definida por dos extremos que acotan el valor posible de la variable y un valor intermedio representativo del valor con mayor posibilidad de obtenerse. Así mismo, el cuádruplo de confianza es una expresión de la incertidumbre definido por dos extremos que acotan el valor posible de la variable (como ocurre en la triplete) pero además el valor intermedio en sí queda definido dentro de otro intervalo que acota el dato más posible entre el extremo inferior y el superior...

Continuando con las obras de Gil Aluja y Kaufmann (1993, 89 – 90), la definición de las escalas semánticas resulta fundamental:

Escala binaria

0: falso
1: verdadero

Escala ternaria

0: falso
0.5: ni verdadero ni falso
1: verdadero

Escala pentaria

0: falso
0.25: más falso que verdadero
0.5: ni verdadero ni falso
0.75: más verdadero que falso
1: verdadero

Escala escaria

0: falso
0.2: casi falso
0.4: más falso que verdadero
0.6: más verdadero que falso
0.8: casi verdadero
1: verdadero

Escala endecadaria

0: falso
0.1: prácticamente falso

- 0.2: casi 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: casi verdadero
- 0.9: prácticamente verdadero
- 1: verdadero

Subconjuntos borrosos

Si Ω es un conjunto, un subconjunto borroso de Ω está definido por su función de pertenencia $F(x)$, la cual da lugar a valores en $[0, 1]$ para todo x en Ω . Luego, $F(x)$ es una función que mapea Ω en $[0, 1]$.

Es muy importante determinar que los subconjuntos borrosos se asocian a distribuciones de posibilidad.

Definidos los subconjuntos borrosos, podemos introducir los subconjuntos borrosos continuos; en el ámbito continuo, la variable puede tomar cualquier valor comprendido en el intervalo de referencia y todo valor tiene asociado un nivel de presunción (posibilidad) determinado.

Se observa que un alto grado de posibilidad no implica un alto grado de probabilidad. Es decir, lo que es probable debe ser posible, en cambio lo que es posible no siempre es probable. La teoría de los subconjuntos borrosos generaliza el cálculo de probabilidades.

Desde el punto de vista de la lógica borrosa, el carácter borroso del conjunto A se cumple si y solo si se incumplen las leyes de Aristóteles:

$$A \cap A^c \neq \emptyset \text{ y } A \cup A^c \neq X$$

Es decir, lo probabilístico excluye lo borroso, pero lo borroso incluye lo probabilístico porque se trata como un caso especial (Buckley, 2002, 5– 17).

Números Borrosos

Un número borroso se define como el subconjunto borroso que satisface tres propiedades:

- La variable objeto de estudio toma valores en el campo de los números reales.
- Se produce la condición de normalidad. Ello significa que, por lo menos en algún momento, la función característica de pertenencia alcanza el máximo de presunción.
- La función de pertenencia es convexa. Esto significa que entre el extremo inferior y el máximo de presunción la función es monótonamente no decreciente, es decir, los niveles de la función característica de pertenencia crecen o se mantienen, pero en ningún momento disminuyen. Del mismo modo, entre el máximo de presunción y el extremo superior, la función es monótonamente no creciente, es decir, los niveles de la función característica de pertenencia disminuyen o se mantienen, pero nunca aumentan.

De esta forma, un número borroso asocia dos conceptos: el de intervalo de confianza que se halla unido a la noción de incertidumbre, y el de nivel de presunción vinculado a la percepción del individuo, es decir, a la noción de valuación. Por analogía, el concepto de variable aleatoria está ligado a la noción de aleatoriedad y por ley de probabilidad al concepto de medida.

3. Consideraciones metodológicas

3.1.1. La lógica como una disciplina separada de la matemática

La lógica surge como una disciplina filosófica y teórica separada de las matemáticas, según comenta en su trabajo A. Barceló Aspeitia. Su principal objetivo es el estudio de las relaciones lógicas tales como conceptos, proposiciones, argumentos y teorías. Estas propiedades o relaciones son independientes de los sistemas que se utilicen para su estudio, por lo tanto, debe contemplarse esta lógica como una ciencia teórica. Es por ello por lo que el éxito de los sistemas formales queda determinado por la explicación y descripción lo más fiel posible de los problemas planteados.

Dentro de la lógica clásica se consideran varias propiedades o relaciones, entre ellas cabe destacar la verdad, la falsedad, la incompatibilidad y la equivalencia lógica, y para acotar aún más estas propiedades puede decirse que la validez y su consecuencia lógica son la propiedad y relación fundamental.

Además de estas propiedades, existen otras clases de relaciones derivadas, tales como la decibilidad, compacidad, incompletitud, que a su vez se predicán de otros objetos lógicos más complejos como definiciones, teorías, modelos, lenguajes, etc.

Para comenzar con una diferenciación entre lógica y matemática se puede decir que la lógica es una ciencia filosófica y parte de su método es matemático. El método matemático es la principal herramienta para dicha definición, ya que este método matemático es la principal fuente de confusión entre estas dos disciplinas. Para evitarlo hay que ser cuidadoso entre dichas disciplinas, procurando distinguir entre ciencia (lógica) y método (matemático).

En la lógica no importa el método que utilicemos para discernir cualquier problema, ya que puede ser independiente de nuestra cognición, estructura lingüística o simbología utilizada, mientras que en las matemáticas estamos absolutamente forzados a utilizar unas estructuras formales que son el núcleo que estructura la herramienta que denominamos con el nombre de matemáticas.

3.1.2. La matemática como una disciplina separada de la lógica

El origen de la ciencia matemática - según José L. Massera - se sitúa en la prehistoria, cuando nuestros ancestros utilizaban las operaciones más básicas en sus actividades prácticas y que resultaban vitales para la formación de un clan, en su relación intertribal, en la formación del lenguaje, en resumen, allá donde la civilización daba sus primeros pasos vacilantes.

Los números naturales surgen por la necesidad de contar unidades, conforme las pequeñas operaciones comerciales fueron haciéndose más y más complejas.

Posteriormente, en lo que se pueden llamar ya civilizaciones estructuradas, se dan los primeros documentos escritos que atestiguan conocimientos importantes matemáticos. Sin embargo, no se puede aseverar que dichos conocimientos no fueran otra cosa que aplicaciones prácticas sobre todo orientadas a la agricultura, con cuyo conocimiento de ciclos más o menos estables, apareció una clase de “sabios” con un poder especial que gestionaba el conocimiento. Así los miembros de esta clase hicieron de este conocimiento una herramienta de poder, reglando los principios de la religión.

Pero fue en un pequeño país, Grecia, en donde el conocimiento se desligó definitivamente de la influencia de los dioses y su intervención sobre la vida humana. Fue aquí donde la ciencia estableció de una manera clara y firme las bases para la ciencia que se conoce hoy en día. Es

entonces cuando la ciencia forma un cuerpo articulado y articulable, un mundo donde la curiosidad, las preguntas y las respuestas dan origen al avance de una civilización. Se consolidan métodos de conocimiento y se sientan las bases de la futura ciencia.

Es en Grecia donde la geometría tuvo sus comienzos, también supeditados especialmente al mundo agrícola. Como la posesión de la tierra era muy importante en la sociedad griega su medición era un tema de capital importancia. Así la agricultura fue precursora de esta ciencia matemática. En astronomía la observación de los cielos y los ciclos astrales repetidos con una frecuencia estable, daban la pauta para establecer las épocas de siembra. Ello dio lugar a la determinación del calendario que regula la vida de las distintas civilizaciones.

3.1.3. Aportación de la matemática a la lógica y su historia

A continuación, se va a proceder a exponer el desarrollo histórico de la lógica matemática y el proceso del nacimiento de la conexión entre la lógica clásica y las matemáticas.

Para comenzar hay que señalar que las raíces de la lógica matemática proceden de las cuatro líneas de pensamiento que refleja P. Nidditch en sus trabajos. Más adelante se plantean las dos vertientes de la lógica matemática que inician un rápido desarrollo (1840), basadas en: la matemática de la lógica y lógica de la matemática. La matemática de la lógica se preocupa de dar forma matemática al razonamiento y se encuentra representada por el álgebra de Boole y la lógica posterior de Jevons, Peirce y Schröder. La segunda vertiente, la lógica de la matemática, se orienta hacia cuestiones de fundamentación lógica. Esta vertiente tiene su origen en el programa logicista de Frege y la teoría de conjuntos de Cantor. También se hace breve exposición de la lógica matemática en el siglo XX; escuela de Peano, Principia Mathematica de Whitehead-Russell, matemática de Hilbert y teorema de Gödel.

Se puede expresar la lógica matemática como el resultado de la convergencia de cuatro líneas de pensamiento. Estas líneas son:

- 1) La lógica antigua, debida a Aristóteles.
- 2) La idea de un lenguaje completo y automático para el razonamiento.
- 3) Los nuevos progresos en álgebra y geometría acaecidos en el siglo XIX.
- 4) La idea de que hay partes de la matemática que son sistemas *deductivos*, esto es, cadenas de razonamientos que se conforman a las reglas de la lógica.

Lógica antigua o Aristotélica

En las obras de Aristóteles sobre lógica cabe distinguir, por lo menos, cinco aspectos:

- Análisis del lenguaje utilizado comúnmente, en relación con los diferentes géneros de palabras y su conexión con los órdenes de existencia (sustancia, cantidad, cualidad, lugar, tiempo, etc.).
- Arte de la argumentación considerado éste como un medio de lograr la destrucción de argumentos que no sean acordes con los propios y a la vez impedir que nuestros propios argumentos queden expuestos a unos ataques similares con el mismo motivo.
- Enseñanza del método científico y sobre cómo la investigación de las ciencias naturales puede aumentar nuestro conocimiento de las leyes que gobiernan nuestro mundo.
- Teoría denominada por Aristóteles como silogismo y que consiste en una forma de razonamiento.

Esta última teoría es la que ha dado nombre o se conoce como “lógica antigua” o “lógica clásica” y es este aspecto de los escritos aristotélicos el que ha dado origen y desarrollo a la lógica matemática.

La silogística de Aristóteles proporciona una relación completa y muy detallada de múltiples formas diferentes de silogismos, además de un corpus completo de reglas para comprobar la validez de cualquier silogismo planteado.

Con todo esto, y a pesar de que las ideas aristotélicas sobre silogística han gozado de amplia difusión, apenas hubo quienes pudieran definir claramente si estas ideas eran verdaderas o falsas, ni quizás lo más importante, si estas respuestas eran cuestiones de verdadera importancia, esto es, si de alguna manera se plantean las preguntas correctas se obtienen las respuestas adecuadas para un razonamiento y deducción más completo.

La lógica de Aristóteles tiene su base en el lenguaje empleado, por lo tanto, no se utilizaba ningún símbolo especial para las operaciones necesarias y así, no parecía posible convertir este lenguaje ordinario en un lenguaje matemático. Por otra parte, no ha sido necesario en dichas operaciones. De aquí se deriva el hecho de que en aquella época no se diese ningún paso para la transformación de la lógica en lógica matemática.

El principal interés de Aristóteles se dirigía no a los ejemplos, sino a las formas del silogismo, lo cual era enteramente correcto desde la perspectiva de la silogística, que investiga las leyes de las implicaciones silogísticas, pues si tales leyes han de ser generales, será necesario que se las ponga en relación con las estructuras de dichas implicaciones y no con los ejemplos materiales.

Hay que reconocer el gran mérito de Aristóteles por haberse percatado de la importancia de este razonamiento y por intuir que el camino

que se dirige a las leyes generales se recorre con la ayuda de unas determinadas variables, que no son otra cosa que diferentes asignaciones a un símbolo de cualquier dominio de la realidad, esto es, sustancias, relaciones, números o cualesquiera otras formas de realidad.

Pero no fue hasta después de un largo tiempo, 1200 años, cuando apareció la figura de George Boole, que vio en la silogística el origen de un álgebra para la lógica y que, partiendo de ella, se pudiera avanzar decisivamente en la mutación de la silogística en una matemática de razonamiento certero

La idea de un lenguaje completo y automático para el razonamiento

Ramón Llull (1235-1315) fue el primero en dar un paso decisivo en la creación de un lenguaje completo y automático para el razonamiento en su libro *Ars Magna* publicado en 1270. En este libro Llull exponía la creencia de que todo conocimiento consiste en la unión de una serie de ideas básicas o fundamentales: el conocimiento es una suma de ideas simples. Dichas ideas tenían un número definido para Llull, este número era 54, cuya tercera parte se refería al campo de la religión o de la moral. La unión de grupos es el Gran Arte (*Ars Magna*), por el cual ha de ser llevado a cabo la *scientia generalis* (la ciencia general). Llull no proveyó de más reglas o solamente algunas triviales para juzgar del valor cognoscitivo de los diferentes complejos o grupos posibles.

Posteriormente a Llull el desarrollo de un lenguaje para la ciencia no tuvo lugar hasta 1660 cuando se imprimieron las obras *Ars Signorum (El arte de los signos)* de George Dalgarno (1626-1687) y *Essay towards a Real Character and a Philosophical Language (Ensayo en pro de un alfabeto real y un lenguaje filosófico)* de John Wilkins (1614-1672).

Las ideas que constituían la base del *Essay* de Wilkins estaban en parte tomadas de Dalgarno. Pero los ensayos de Wilkins son tomados

en más consideración que los de Dalgarno, debido a la elaboración minuciosa de las ideas para la creación de un lenguaje que instauró Wilkins en sus ensayos, ofreciendo un índice completo de palabras y sus sentidos, en cambio Dalgarno elaboró sus ideas en una escala y amplitud considerablemente menor.

El objetivo de Wilkins fue, tal y como dice él mismo, ofrecer una relación de cosas e ideas a las que poder asignar marcas o referencias de acuerdo con sus propiedades intrínsecas, consistiendo toda la estructura de la ciencia en un entramado de relaciones, dependencias y órdenes que revelen el mundo natural en toda su amplitud.

En lo que tanto Wilkins como Dalgarno estaban de acuerdo, era en que un sistema de escritura en el cual los rasgos de abreviatura dependieran solamente de la fonética, requería un lenguaje especialmente diseñado y gran parte del libro de Wilkins está dedicado a este aspecto del lenguaje. El esfuerzo que supuso para Wilkins la elaboración de estas ideas fue vano ya que los recientes descubrimientos científicos y la sobrevaloración que hizo Wilkins de sus conceptos ayudaron para que su proyecto naciera obsoleto, eso sí, manteniendo la esperanza de que era posible construir un lenguaje más preciso que el lenguaje ordinario para una mejor definición en la ciencia.

Por añadidura, Wilkins, al igual que antes Dalgarno, mantenía la opinión de que un sistema de escritura abreviada en el cual los rasgos de abreviatura dependieran solo de los sonidos de las palabras, necesitaba de un lenguaje especialmente diseñado tal como el suyo, y buena parte de su libro está dedicada al desarrollo de este aspecto de su lenguaje.

Puede decirse que fue Descartes (1596-1650) quién concibió la idea de “une langue universelle” un lenguaje general como algo similar a la aritmética. En una carta a Mersenne de 20 de noviembre de 1629 afirmó que es posible la invención de un lenguaje en el cual: “se establezca un

orden entre todos los pensamientos que puedan acudir a nuestras mentes, del mismo modo que hay un orden natural entre los números;... La invención de este lenguaje es algo que depende de la filosofía verdadera, pues sin ella no es posible confeccionar una relación de todos los pensamientos humanos y ponerlos en orden, ni siquiera separar unos de otros de modo que se tornen claros y simples, lo cual es, en mi opinión, el gran secreto de la obtención de un conocimiento bien fundado...”

Poco más tarde Leibniz (1646-1716) también ideó el desarrollo de un nuevo lenguaje general, que no sería muy diferente al de Descartes, pero sugiriendo algunas mejoras o avances respecto al lenguaje cartesiano. En su obra *De arte combinatoria* (Sobre el arte de combinar formas) impresa en 1666 presenta la idea de una matemática de las ideas: de la misma manera que todo número mayor que la unidad o bien forma parte de la clase de los números primos, o en caso contrario es un número compuesto, que puede ser producido sobre la base de números pertenecientes a la referida clase de primos. Leibniz creía en la matemática como la ciencia clave: pensaba que las operaciones matemáticas eran susceptibles de ser ampliadas suficientemente como para poder definir y clarificar cualquier problema que se presente a su análisis.

Cambios en álgebra y geometría, 1825-1900

En las décadas comprendidas entre 1825 y 1900 el álgebra y la geometría experimentaron cambios drásticos: ideas que afectaron a una visión general en la filosofía de la matemática y que dieron un enfoque completamente diferente de lo que hasta entonces había sido esta rama de la ciencia, influyendo de una manera definitiva en el desarrollo de la lógica matemática.

La necesidad de formar una tabla de las leyes del álgebra que informen de cuáles son las propiedades de las operaciones algebraicas que se realicen y de las leyes que las rigen fue vislumbrada por Peacock (1791-

1858). En su obra *A Treatise on Algebra (Un tratado de álgebra)* (1830; segunda versión, en dos partes, 1842-1845), adelantó la idea de que el álgebra es una ciencia deductiva al igual que la geometría.

De esta concepción surgió el nuevo tipo de álgebra, denominada por Peacock *Algebra Simbólica* y posteriormente *Algebra Abstracta*. Boole, que fue el principal responsable del nacimiento de la lógica matemática, acusó la profunda influencia de las ideas de Peacock, ideas que hicieron posible la construcción de nuevos modos de entender el álgebra y especialmente el álgebra de la lógica.

Otra idea que vino a revolucionar el mundo del álgebra abstracta y su alejamiento de la antigua teoría de las ecuaciones fue formulada por el matemático Niels Abel (1802-1829) que junto a otros matemáticos, desarrollaron la idea de que los valores numéricos para ecuaciones de quinto grado son imposibles de obtener por los procedimientos tradicionales -especialmente la extracción de raíces cuadradas y de orden superior- que posibilitan la obtención automática de valores numéricos para ecuaciones de grado 1, 2, 3, ó 4.

Galois, en su empeño en explicar por qué los hechos eran tal como Abel había expuesto, concibió la idea de *grupo* (en un sentido especial de la palabra “grupo” usado en matemática) y analizó algunas de las más importantes propiedades de los grupos. Inspirada en su obra, una parte del álgebra -la *Teoría de Grupos*- se convirtió rápidamente en la primera nueva rama del álgebra abstracta. Así, los cambios en álgebra que tuvieron lugar en Inglaterra vinieron a darse en sintonía con los habidos en otros países de Europa.

Estos cambios en las matemáticas produjeron una verdadera revolución en el mundo académico, ya que se dieron con tremenda rapidez en relación con épocas anteriores, pero dicha revolución no había hecho más que comenzar. El siguiente paso fueron los descubrimientos de los

sistemas de Álgebra de Vectores y de Álgebra de Matrices, elaborados no mucho después de la muerte de Galois en 1832, estos sistemas se añadieron a la teoría de grupos como nuevas ramas del álgebra abstracta.

En la década de los años 1840 se dio otro avance en el estudio del álgebra, produciéndose la teoría del álgebra de propiedades mensurables elaborada por W. R. Hamilton y Grassmann, esta nueva rama del álgebra tendría su principal aplicación en mecánica y electromagnética donde juega un papel importante la idea de propiedades que no solo tienen una cierta magnitud por relación a alguna unidad de una escala dada, sino también una dirección por relación a algún marco o sistema de posiciones.

La década de los años 1850 contempló la invención del *Álgebra de Matrices* por Cayley. Esta rama de la matemática es la teoría de las tablas que tienen m filas y n columnas de números.

Resultó entonces evidente que la validez de una ley dependía de su campo de aplicación, este cambio en álgebra, cuya madurez total necesitó cien años (1830-1930), ejerció una poderosa influencia en el desarrollo de casi todas las demás partes de la matemática. Sirva solamente como ejemplo la exposición que Schroeder y Whitehead hicieron en la década de los años 1890, consistente en presentar la lógica en forma de una ciencia deductiva que hacía uso abundante de los signos y procesos del álgebra y de las últimas direcciones en álgebra abstracta. Como resultado de estas investigaciones, se consideró normal en la lógica matemática tener en cuenta las últimas teorías algebraicas por lo que supone una aportación continua de material que hace de la lógica una rama viva y en constante crecimiento de la ciencia.

Consistencia y metamatemática

En la década de 1890, un matemático italiano, Peano, junto con su escuela otorgó a la propiedad de consistencia un papel importante para

los sistemas deductivos matemáticos, cuando esta y otras cuestiones fueron planteadas y aplicadas a los diferentes sistemas deductivos de la matemática, y fue entonces cuando se diseñaron métodos para darles respuesta por medio del argumento. Peano y su escuela fueron los principales responsables de ello, si bien la labor desarrollada en esta misma dirección, por Hilbert en Alemania, en los últimos años de esa década, influyó más decisivamente en el desarrollo posterior.

Fruto de esta labor fue una nueva rama de la lógica matemática: la metamatemática. La metamatemática se ocupa de lo que pueda afirmarse con verdad de un sistema deductivo (o de un grupo de sistemas deductivos), por ejemplo, que tiene la propiedad de la consistencia o que ninguno de sus axiomas es dependiente de los restantes.

El nacimiento de la lógica matemática tuvo lugar en la década de 1840. La mayor parte de los más importantes e interesantes resultados obtenidos en los primeros cincuenta años de su desarrollo han tenido lugar al nivel de la metamatemática.

Una vez expuestas las cuatro corrientes de pensamiento, se puede ahora hablar del desarrollo de la lógica matemática propiamente dicha, que nace de la confluencia de las 4 corrientes mencionadas.

El comienzo de la lógica matemática puede fecharse en 1847, en cuyo año fue publicada la obra de George Boole *The Mathematical Analysis of Logic (El análisis matemático de la lógica)*. Con esta fecha tan exacta se quiere dar la debida importancia al descubrimiento de este matemático, que marca un punto de referencia para próximas concepciones matemáticas. Su teoría difería en gran manera de lo aportado hasta la fecha, siendo esta aportación clave en el surgimiento de la teoría de la lógica matemática.

Las primeras doctrinas de lógica de las que Boole tuvo conocimiento y que influyeron en él fueron, por una parte, las de la vieja lógica, y,

por otra parte, las de Sir William Hamilton (1788-1856) y De Morgan (1806-1871), relativas a la teoría que se basaba en el cambio de las cuatro formas de enunciado categórico, A, E, I y O, en un número mayor de formas en las cuales se aduce la cantidad del predicado.

El resultado de la teoría de Hamilton-De Morgan fue hacer posible una concepción de la lógica como un álgebra de clases, al menos en una de sus ramas. Boole fue el primero que claramente tuvo esta visión.

El primero de los cuatro libros de Boole fue *El análisis matemático de la lógica* (1847). Es una obra que ofrece una lógica basada en la matemática, principalmente en el álgebra; sus ideas capitales son las de clase, elementos de clase, y operaciones de selección de elementos de clase; y su teoría al respecto está constituida por el uso de ecuaciones.

Esto supuso un gran avance, Boole expuso además una teoría de la lógica de enunciados considerada como un álgebra; a diferencia de Leibniz, Hamilton y De Morgan, le prestó importancia a esta parte de la lógica, y donde otros no supieron encontrar el camino adecuado, él supo dar una excelente presentación de esta materia. Es de notar que su teoría de la lógica de enunciados fuese, en cuanto a la forma, exactamente la misma que la del álgebra de clases. Boole fue el primero en presentar una teoría unitaria de la lógica, pero con 2 interpretaciones: uno que la pone en relación con clases y otro que la pone en relación con enunciados.

La completa formulación de las ideas de Boole tuvieron lugar en 1854 en su libro *The Laws of Thought (Las Leyes del pensamiento)*. Está dividido en 2 partes, la primera se ocupa del álgebra de la lógica, mientras que la segunda trata de las aplicaciones de esta álgebra en la teoría del razonamiento probable y en la matemática del azar. En este segundo libro Boole da muestras de una mayor madurez, alcanzando cotas matemáticas superiores a su primera obra, principalmente en su intento de hacer uso de las operaciones y procesos matemáticos para la

construcción de su estructura lógica, estaba absolutamente dispuesto a hacer uso de la aritmética o del álgebra de números siempre que ello le reportase resultados para confirmar su teoría.

Durante cien años aproximadamente la investigación en lógica matemática se ha dedicado a buscar errores en la teoría de Boole, a proporcionar un mayor rigor a su teoría, en poner su álgebra en forma de un sistema deductivo y por último sirviéndose de su teoría para elaborar una teoría de clases denominadas reticulados, por lo tanto durante este período de tiempo, la lógica matemática no fue otra cosa que un comentario al margen de la obra de Boole, citando la conocida frase filosófica, pero también a las ideas de Boole le llegarían sus renovadores o creadores siendo los científicos Jevons, Peirce y Schoder los encargados de esta tarea.

William Stanley Jevons (1835-1832) publicó libros de excelente calidad, acerca de la lógica de la deducción y lógica de la ciencia natural. El considerado su obra magna fue *The Principles of Science* (Los principios de la ciencia) (1874), en el que se exponen abarcando su pensamiento completo, los puntos de vista del autor sobre la lógica de la deducción y la lógica de la ciencia natural.

En opinión de Jevons la teoría de la deducción es una teoría del razonamiento sobre cualidades o ideas-cualidad y no una teoría de enunciados en tanto que tales, ni de clases. La teoría de la deducción ha de ser una teoría bajo cuyas reglas los pasos de cualquier razonamiento puedan ser transformados en ecuaciones que exhiban en ambos extremos signos representativos de cualidades claramente delineadas.

Jevons creía que Boole no estaba en lo cierto al considerar a la lógica como una rama del Análisis Matemático y que sus errores eran la consecuencia de dicho error. Toda línea en la solución de un problema lógico debe tener sentido desde el punto de vista de la lógica.

Con Charles Sanders Peirce (1839-1914), sus ideas sobre lógica matemática fueron escritas en diversos artículos o registradas en cuadernos de notas privados, cuya realización se produce entre el año 1866 hasta el año 1905, siendo los años transcurridos en la Universidad John Hopkins los más fructíferos de su carrera. Acorde con el pensamiento de Boole, que manifestaba que la lógica de la deducción tenía fuertes conexiones con la matemática, también estaba de acuerdo con Jevons según el cual todo sistema de tal lógica tenía sus limitaciones en su uso de la matemática empleada por la necesidad de permitir que todas sus leyes y reglas tuvieran sentido en lógica.

Peirce fue pionero en utilizar la operación de adición que había sido desarrollada por De Morgan y Jevons. A partir de 1867, el año de sus primeros artículos sobre lógica matemática, Peirce dio a conocer una serie de importantes desarrollos y de nuevos sistemas en álgebra de clases.

La más completa exposición que Peirce dio a conocer, se trata en su artículo “*The Logic of Relatives*” (*La Lógica de los Relativos*), impreso en *Studies in Logic by Members of John Hopkins University* (1883). Su teoría está basada en el álgebra de Boole y en la *Formal Logic (Lógica Formal)* (1847) y otros ensayos de De Morgan.

El tercero de los autores es Ernst Schroeder (1841-1902) cuyas obras fueron *Der Operationskreis der Logikkalkuls* (El Campo de Operación del Cálculo Lógico) y *Vorlesungen über die Algebra der Logik* (Lecciones sobre el Álgebra de la Lógica). El primero de estos dos libros (1877) contiene un sistema simple del álgebra de la lógica, que también se basa en el sistema de Boole, aunque con algunas diferencias importantes cuyo descubrimiento fue debido a la meditación y la experiencia posteriores, con los cuales el cambio resultaba prudente y necesario. La tendencia de estos cambios iba en la misma dirección que los ya propuestos por Jevons y Peirce: el álgebra ha de ser lógica vestida de

matemática, no un trozo de matemática al que casi por accidente se le pudiera considerar, total o parcialmente, como una teoría de la lógica.

La confección de las *Vorlesungen* tuvo lugar en cuatro partes que aparecieron separadamente en el mercado entre los años 1890 y 1905. Este libro llevó a cabo una completa recopilación del estado en aquella época de la lógica matemática en cuanto basada en el álgebra; en él se exponían discusiones y sistemas en los que se analizaban los más pequeños detalles de la lógica de clases, de juntores y de relaciones.

Muchas de las aportaciones de Schroder eran nuevas, aunque a menudo se basaba en material más antiguo. Entre sus teoremas más valiosos figura el de *dualidad*.

La presente historia del álgebra de la lógica concluye ahora con la exposición de la fase evolutiva que tuvo lugar en los diez años que sucedieron a su primer medio siglo, 1847- 1897.

Esta fase se caracteriza por dos etapas. En primer lugar, por el intento de Whitehead (1861-1947) en su *Universal Algebra (Álgebra Universal)* (1898) de proveer una teoría absolutamente general del álgebra, y exponer cuáles son los cuerpos de axiomas y definiciones que serán aceptables referencias para los diferentes sistemas que abarquen a esta parte de la matemática; este libro fue el primero después de *Las Leyes del pensamiento* en tratar seriamente el álgebra de la lógica como un campo dentro de la matemática ordinaria y en aclarar las conexiones entre esta rama y otras del Álgebra Abstracta.

En segundo lugar, esta fase está marcada por el primer trabajo consciente en la *metamatemática* del álgebra lógica. Usando ardidés y procedimientos de una especie descrita por Peano y otros autores de la escuela italiana, Huntington (1874-1952) hizo una *demostración* -un argumento correcto que garantiza la verdad de una tesis- de la consis-

tencia de un número de diferentes sistemas axiomáticos sustancialmente idénticos a los expuestos en los libros de Schroeder y Whitehead, y demostró que en tales sistemas ningún axioma es susceptible de convertirse en teorema del resto de los axiomas del mismo sistema (de manera que en un sistema ningún axioma depende de los demás). Este fragmento de teoría de segundo orden -la lógica de la lógica- del álgebra lógica se gestó (1904) entre 1890 y 1905, cuando las teorías de segundo orden de la matemática (a lo que se dará el nombre de metamatemática) empezaron a ser consideradas como una parte muy importante de la teoría acerca de los fundamentos de la matemática.

La matemática de la lógica y la lógica de la matemática

La lógica matemática tiene dos corrientes. Una, que tiene sus raíces en el pasado, es la lógica como ciencia de la forma deductiva del razonamiento. Es la que usa ideas y operaciones similares a las de la matemática, a la que imita en la técnica de construcción de sistemas. Se puede denominar a esta corriente la *matemática de la lógica*. En este campo fue donde trabajaron Boole y otros autores interesados por el álgebra lógica. A su vez, esta vertiente presenta dos niveles: la lógica de la deducción propiamente dicha, que adopta la forma de los llamados sistemas de primer orden (esto es, los sistemas de lógica de enunciados, de lógica de predicados y de lógica de clases y de relaciones), y las teorías de segundo orden, edificadas sobre los anteriores sistemas, y cuya formación tuvo lugar unos cincuenta años después de haberse constituido los sistemas de primer orden.

La otra vertiente es la *lógica de la matemática*. En ella se plantean dos principales tipos de cuestiones -que incluyen una serie de puntos comunes. Uno de estos dos tipos de cuestiones corre a cargo de la metamatemática especial de las distintas ramas concretas de la matemática (aritmética, geometría de Euclides, teoría de grupos, etc.). El segundo tipo de cuestiones afecta más bien a las bases generales de la matemática.

Desde los primeros años del siglo XX, pudiéndose situar esta fecha desde la muerte de Schroeder (1902) hasta hoy en día, la mayor parte del trabajo en lógica matemática ha sido realizada en conexión con su lógica.

Gottlob Frege (1848-1925) fue profesor de matemáticas en la Universidad de Jena y autor de libros y artículos sobre lógica, lógica de la aritmética, y sobre la filosofía de esos campos. Por diversas razones, los escritos de Frege no fueron valorados hasta que la obra de Russell, *Principles of Mathematics* (1903) dio cuenta de ellos.

¿Qué pensaba Frege acerca de la relación entre lógica y aritmética? Su teoría era que el número es una idea que existe independientemente de la mente y que es susceptible de ser analizada en términos de ideas lógicas, lo cual permite dar de ella una definición completamente satisfactoria con la exclusiva ayuda de las ideas de la lógica; y así, dando un paso más, afirmaba que la aritmética misma es una parte de la lógica. De acuerdo con Frege, Russell dirá más tarde que la aritmética “es sólo un desarrollo, sin necesidad de añadir nuevos axiomas, de una cierta rama de la lógica general”.

El camino que conduce a la demostración plena y total de esta teoría fue iniciado por Frege en su *Begriffsschrift: eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens* (Conceptografía; un lenguaje simbólico al modo aritmético del pensamiento como tal) de 1879, y llegó a su fin con las dos partes de su *Die Grundgesetze der Arithmetik, begriffsschriftlich abgeleitet* (Los principios de la aritmética, deducidos concepto gráficamente) de 1893 y 1903.

En la *Conceptografía* ofrece Frege un sistema axiomático de la lógica de enunciados, y utilizando el cuantificador general entra de lleno en la lógica de predicados (que es la lógica de enunciados que contienen variables de individuo). Asimismo, ofrece una exposición de algunas partes de la aritmética, elaboradas con ayuda de definiciones basadas en

ideas que se suponen ser lógicas, como, por ejemplo, las ideas de clase, elemento de clase y relación.

En los *Grundgesetze*, Frege presenta una exposición completa de la aritmética, a la que considera como la teoría de las leyes de las operaciones sobre números de la forma p/q , donde el dominio de q es el de los enteros $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ y el dominio de p es ese mismo dominio incluyendo además a 0.

Pero el punto capital de la aritmética de Frege es su definición de *número cardinal*, cuya más sencilla ejemplificación son los elementos de la serie 0, 1, 2, 3, ... Para Frege, un número cardinal es una propiedad de una clase.

Aritmética cardinal y ordinal de Cantor

Aunque Cantor no da una definición de “número cardinal”, hizo uso de números cardinales como cosas que tienen una especie de existencia y que poseen propiedades y relaciones entre ellas mismas.

Cantor elaboró una aritmética de los números cardinales en la que ofrecía definiciones para las operaciones de adición, sustracción, etc., como también el descubrimiento y demostración de las leyes de la aritmética.

La aritmética de una nueva clase de número, la llamada *ordinal*, fue elaborada por vez primera por Cantor. El número ordinal se funda en conjuntos bien ordenados, esto es, en conjuntos dispuestos de manera que guarden un cierto orden entre sus elementos, de suerte que haya un primer elemento, un segundo elemento, y así sucesivamente. Para conjuntos finitos, los números cardinales y los ordinales son los mismos; sin embargo, para conjuntos que no son finitos, los números no son los mismos porque es posible hacer que todos los conjuntos de esta índole

tengan relaciones de orden muy distintas. Y, al igual que para los cardinales, no hay límite para el número de ordinales cada vez más altos.

La teoría de números cardinales y ordinales -la aritmética de conjuntos- ha sido una de las más fértiles invenciones de la nueva matemática y es una de las ramas más importantes de la Lógica Matemática.

Descubrimientos de Burali-Forti y de Russell

En 1897 Burali-Forti (1861-1931) realizó una demostración de que el número ordinal de la clase bien ordenada W de todos los números ordinales no es un elemento de esa clase; así, por una parte, todos los números ordinales son, por definición, elementos de W , mientras que, por otra parte, no todos los números ordinales son elementos de W , porque el número ordinal de W mismo no es un elemento de W .

En 1901 Russell (1872-1970) vislumbró por su parte la pérdida de la consistencia de la aritmética cardinal en conexión con la clase más general A . Tras haber descubierto este ejemplo, Russell remitió a Frege otro ejemplo justo en el momento en que la segunda parte de la obra *Grundgesetze der Arithmetik* de Frege estaba a punto de imprimirse e iba a ser ofrecida al público; Frege supo inmediatamente que su sistema de clases, al igual que el de Cantor, no tenía la requerida propiedad de consistencia. La nueva idea de Russell era ésta: no habiendo, en principio, nada que indique que cualquier clase pueda ser un elemento de sí misma, sea E , por definición, la clase de todas las clases que no son elementos de sí mismas.

La lógica de Peano. Implicación y matemática

Al principio, la lógica matemática se redujo a la teoría de clases. La primera persona que mantuvo que la teoría de enunciados (con o sin variables) era más importante fue Hugh Mc Coll (1837-1909), quien defen-

dió en una serie de artículos sobre el “Cálculo de enunciados equivalentes” (1878 y siguientes) el punto de vista de que el fin de la lógica es solo la teoría de enunciados y que la principal partícula conectiva al respecto es una especie de implicación. La idea de que la raíz de la Lógica Matemática es la teoría de enunciados y no la teoría de clases y de que la implicación, considerada de un modo u otro, es la principal relación para considerar en lógica. Por ejemplo, Frege y Peirce se interesaron por la lógica de enunciados (de juntores) como una rama separada del álgebra de clases, y la implicación cobró especial importancia en sus sistemas. Sin embargo, antes de Peano (1858-1912) nadie hizo uso de la lógica de enunciados para clarificar los argumentos de la matemática ordinaria, viendo por tanto en la lógica un instrumento para aclarar y dar rigor al razonamiento en tal matemática. Y nadie puso de relieve antes de Peano que la implicación es la principal relación en la matemática, por ser implicaciones todos o casi todos los enunciados que son verdad en cualquier sistema matemático. En esta tesis de Peano de que los teoremas de la matemática son implicaciones se basa la definición que da Russell de la matemática al inicio de sus *Principles of Mathematics* como la clase de todos los enunciados de la forma ‘si s_1 entonces s_2 ’ estando s_1 y s_2 sujetos a ciertas limitaciones. Y la idea de que era posible, merced al uso de la lógica, poner todos los enunciados de la matemática, y no solo los aritméticos en forma de un lenguaje artificial de signos y construir las demostraciones de todos los teoremas matemáticos mediante cambios y sustituciones de tales signos partiendo de axiomas y definiciones como signos complejos, no había sido expuesta detalladamente antes de Peano. Los demás expertos de “Lógica Matemática” de aquel tiempo o bien se interesaron por la lógica misma, o bien, como Frege, por reducir a lógica una parte de la matemática; al contrario que Peano, no se interesaron por el valor de la lógica como instrumento para la matemática ordinaria en cuanto tal (y no en tanto que lógica, física o filosofía).

Para poner las demostraciones matemáticas en una forma rigurosamente razonada, Peano emprendió la tarea de descubrir todas las ideas y leyes de

la lógica que se usan en matemática y de inventar un cuerpo de signos para la clara notación de esas ideas y la clara enunciación de esas leyes.

Los Principia Mathematica de Whitehead y Russell

La culminación de los primeros estadios del desarrollo de la Lógica Matemática, es decir, de los estadios que van de 1847 a 1910, lo constituyó la obra de Whitehead y Russell *Principia Mathematica* (primer volumen, 1910; segundo volumen, 1912; tercer volumen, 1913). En él confluyen en un sistema general el álgebra lógica de Boole-Schroder y las teorías de Frege, Cantor y Peano, cuyas respectivas finalidades difieren no sólo del álgebra lógica, sino también entre sí.

La relación entre los “*Principles*” de Russell y los “*Principia Mathematica*”. - La tarea de escribir los *Principia Mathematica* fue estructurada como la continuación y el desarrollo de las enseñanzas contenidas en los *Principles of Mathematics* (Los Principios de la Matemática). En los *Principles*, Russell había sostenido la opinión de que toda la matemática es el fruto de la lógica: de todas las ideas de la matemática pueden darse definiciones que utilicen exclusivamente ideas que son parte de la lógica, y de todos los teoremas de la matemática pueden darse demostraciones que utilicen exclusivamente axiomas y definiciones que son parte de la lógica. Los *Principles* constituyen una larga exposición y discusión de este punto de vista en la filosofía de la matemática. Pero no suministran un desarrollo detallado de la lógica, con las consiguientes cadenas de deducciones que sirvan de soporte a dicho punto de vista. Este detallado desarrollo, en lo que concierne a la aritmética, es ofrecido en los *Principia Mathematica*, y éste fue el principal objetivo de los “diez años” de trabajo de ambos autores en la confección del libro.

Cómo procedió Russell para obtener *la consistencia de la teoría de clases*. -En los *Principles of Mathematics*, Russell acometió el intento de hacer desaparecer las dudas -cuyo origen se encuentra en los descu-

brimientos de Burali-Forti, de él mismo, y de otros autores de que el álgebra de clases y la aritmética de clases no posean la propiedad de consistencia. En los *Principia Mathematica* se volvió a adoptar una modalidad de este mismo tipo de estipulación, que ha dado mucho que hablar como procedimiento para obtener la consistencia en la teoría de clases. Esta estipulación contiene dos aspectos: primero, que todo lo que se refiere a la totalidad de una clase, no puede ser un miembro de esa clase; y, segundo, que no es posible que los valores de una función tengan partes cuya definición sólo pueda darse por relación a la función misma. Una consecuencia de ello es que, si dos funciones pueden tener en común un objeto dado a como argumento, entonces queda excluida la posibilidad de que una de ellas pueda servir de argumento de la otra, como también la posibilidad de que ambas tengan objetos en común con aquellas otras funciones de las cuales puedan ser argumentos.

En los años inmediatamente subsiguientes a la aparición de los *Principia Mathematica* el trabajo de los lógicos se concentró en la tarea de simplificar y perfeccionar las bases axiomáticas de aquel sistema. Pero han sido pocos los que han estado de acuerdo con la opinión de Frege-Russell-Whitehead de que la matemática es lógica, si bien algunos de los autores que declaran estar de acuerdo con esa opinión son pensadores de máximo prestigio, como, por ejemplo, Quine. Aparte del álgebra y la aritmética de clases como ramas no axiomatizadas de la matemática ordinaria, la tarea principal de la lógica de la matemática en los últimos cincuenta o sesenta años se ha orientado hacia el estudio de la metamatemática de sistemas axiomáticos de lógica y de matemática y del campo de ideas a que ha dado origen la metamatemática.

Las demostraciones de Post, Hilbert y Ackermann, y Gödel *para los sistemas de "Principia Mathematica"*. Emil Post (1897-1954) era todavía muy joven cuando, en 1920, dio una demostración de que el sistema axiomático de lógica de enunciados de *Principia Mathematica* tiene la propiedad de consistencia y de que es completo en el sentido de

que toda ley verdadera de dicha lógica puede ser obtenida como teorema en el sistema. Por añadidura, la monografía publicada por Post en 1920 contenía una breve exposición de su invención de una lógica *n*-valente de conectores enunciativos, que es una lógica en la que no solamente pueden darse a sus enunciados los dos valores *v* y *f*, sino cualquier número *n* de valores.

Por ese mismo tiempo tuvo lugar la invención por Lukasiewicz una lógica tri-valente.

Posteriormente, más avanzada la década de 1920, Hilbert y Ackermann dieron una demostración de la consistencia de un sistema axiomático de la lógica de predicados, siendo dicho sistema igual al de los *Principia Mathematica*. Y en 1930 Gödel dio una demostración del hecho de que el mencionado sistema de lógica de predicados de los *Principia Mathematica* es completo.

El teorema de Gödel en la metamatemática de la aritmética

En los años 1920, el principal objetivo de Hilbert era obtener una demostración de la consistencia de la aritmética elemental, es decir, de la teoría de los números naturales. Sin embargo, en las postrimerías de esa década -concretamente, en 1931 - Gödel (1906-1978) llevó a cabo el descubrimiento, extraordinariamente sorprendente y perturbador, de la demostración de un teorema en la metamatemática de la aritmética elemental que desvanecía las esperanzas de Hilbert.

El Teorema de Gödel no era, en realidad, algo absolutamente nuevo, pues había habido anteriores sugerencias -por ejemplo, la de von Neumann en un importante artículo de 1927 sobre demostraciones metamatemáticas- de que probablemente era verdadero algo similar. Pero los expertos quedaron sorprendidos de que, con los conocimientos de entonces, se hubiese podido obtener una demostración.

El Teorema de Gödel puede enunciarse diciendo que ningún sistema axiomático de la aritmética elemental es completo, si tiene la propiedad de la consistencia. Así, cualquiera que sea el sistema axiomático de la aritmética elemental de que se disponga, si se supone su consistencia, hay al menos una relación verdadera entre números naturales que no puede ser obtenida como teorema dentro de ese sistema.

3.1.4. La matemática y lógica van unidas

B. Russell, uno de los pioneros del logicismo matemático, escribe en una de sus obras que la matemática y la lógica, hacen referencia a la imposibilidad de trazar una línea divisoria entre las dos disciplinas, de hecho, las dos son una sola. En cuanto a las investigaciones matemáticas se hallan en la frontera de la lógica. Lo mismo ocurre en el ámbito de la lógica moderna, es simbólica y formal, lo cual pone de manifiesto la estrecha relación entre lógica y matemática debiendo admitir la identidad entre lógica y matemática.

El carácter específico de la lógica consiste en que a pesar de ser independiente de nuestra experiencia es capaz de conectar con ella. (Las estructuras lógicas -y matemáticas- no pertenecen al dominio de las cosas reales, pero tampoco son meros contenidos de conciencia, es decir, meras ilusiones o fabulaciones. Precisamente porque no pertenecen exclusivamente ni al mundo de la realidad ni al de la conciencia, Popper, al referirse a ese tipo de estructuras, habla de un tercer ámbito, de un “tercer mundo”).

Resulta en principio sorprendente que las estructuras formales que la lógica maneja tengan algún tipo de aplicación a la realidad, tan llena de matices, irregularidades y de cambios, pero también es cierto que la lógica y la matemática tienen capacidad para modelizar ámbitos cada vez más interesantes de la vida humana. De aquí el interés creciente que se les presta no sólo desde la investigación más abstracta, sino también

desde las ciencias aplicadas y la tecnología. No se trata, como puede suponerse, de que la realidad se acoja a las formas de la lógica, sino que depende de éstas que podamos obtener distintos modelos que reflejen los aspectos de la realidad. (Como se plantea, los modelos no son copias de la realidad, como si se tratara de meras reproducciones suyas. Recordemos que el modelo solo es válido en sus estrictos límites, es decir, cuando es capaz de dar cuenta de aquellos aspectos de la realidad para los que ha sido concebido. De ahí que la realidad creada a partir de modelos lógicos y matemáticos no sea automáticamente identificable con la realidad que los modelos quieren precisamente expresar. La modelización pasa siempre por un proceso de interpretación y de formalización de la realidad, proceso a lo largo del cual la realidad originaria se simplifica, se abstrae, se amplía, se usa para establecer analogías, para sacar conclusiones, etc.)

No es extraño, pues, que durante el siglo XX -particularmente gracias a la estadística y a la teoría de probabilidades-, la matemática amplíe sus preocupaciones tradicionales y empiece a aplicarse a las ciencias sociales y humanas (economía, geografía, sociología, lingüística o psicología). También, se introduce en la biología, particularmente a través de la genética. Ya no se trata ahora de la matemática exacta de la física moderna. Es, claro está, una matemática precisa, pero sus resultados -probables o de razonamiento aproximado- ya no quieren ofrecer conclusiones exactas. Las demostraciones, evidentemente, no son aproximadas, ni deben serlo. Los resultados, sí. Pero, puesto que frecuentemente hay que limitar con gran precisión los márgenes de error, la matemática no puede prescindir, sino al contrario, de la buena fundamentación facilitada por una base lógica rigurosa.

3.2. Desviaciones científicas de la lógica

Alfredo Deaño en su libro “Introducción a la lógica formal” describe su significado de la siguiente manera: como *Apofántica* (por dejar

fuera enunciados de los que no quepa preguntar si son verdaderos o falsos), *Bivalente* (sólo admite para los enunciados los dos valores de verdad, verdadero o falso), *Asertórica* (al excluir la existencia de modalidades de la verdad) y *Extensional* (por operar solo en términos de la verdad global de sus expresiones). Esta es la lógica clásica que arranca de Boole y de Peirce y que llega a la gran sistematización de Whitehead y Russell. En ella solo tienen cabida aquellas conexiones entre enunciados que son definibles como funciones de verdad y su representación matemática (ella misma) es la Teoría de Conjuntos. Y esta es la Lógica en la que se han producido las desviaciones o corrientes de opinión que han actuado alterando alguno de los presupuestos en que se basa; esencialmente y por una vía u otra, en relación con las leyes de no-contradicción y del tercero excluido. Se considera interesante hacer a continuación un breve recordatorio de las desviaciones producidas que han conducido a la Lógica moderna de la que se dispone hoy en día.

En primer lugar, se estudia la llamada lógica intuicionista. El intuicionismo fue introducido en el campo de la Matemática por L. Brouwer y es esencialmente una contestación al conocimiento de proposiciones matemáticas, sobre objetos matemáticos de los que se presupone la existencia (en razón de una deducción no contradictoria con los axiomas de que se trate) pero de los que no se conoce ninguna construcción efectiva. Los intuicionistas rechazan toda afirmación o negación sobre entidades matemáticas no-construibles en tal sentido; para ellos en las matemáticas “existir” es sinónimo de “ser construible”. Rechazan la validez o falsedad de multitud de asertos matemáticos a los que el matemático convencional ha llegado mediante la reducción al absurdo: rechazan evidentemente el principio del tercero excluido. Para ellos la lógica es dependiente de las matemáticas, pero no ésta de aquélla, al creer que la lógica aparece con la creación del lenguaje matemático.

Otra desviación famosa de la lógica clásica en el campo científico surgió en la Mecánica Cuántica cuando John von Neumann y Garrett

Birkhoff publicaron su artículo “The Logic of Quantum Mechanics” en el que partían del hecho de que las proposiciones de la citada Mecánica se representan por subespacios cerrados de un espacio de Hilbert separable (y sobre el cuerpo complejo), espacio natural del cálculo operacional que maneja y con el que se construye tal teoría. Por consiguiente, debe observarse que en la lógica de la mecánica cuántica valen el principio de no-contradicción y la ley del tercero excluido. La desviación con la lógica ordinaria arranca por consiguiente de la no-distributividad del retículo, propiedad típica de las partes distinguidas de una estructura.

Hans Reichenbach (1891-1953), a partir de un concepto frecuentístico de la probabilidad que la enlaza mucho más con la observación de fenómenos que presentan regularidad estadística y en la posición de una filosofía a la que llamó “empirismo probabilístico”, se preocupó de aplicar la probabilidad a la inferencia, lo que provocó una nueva desviación de la lógica clásica en el campo de la ciencia. Está claro que para las líneas no-frecuentísticas es primero la lógica (booleana o de la mecánica cuántica) y luego la probabilidad, en tanto que para Reichenbach es primero la probabilidad (que evalúa relaciones numéricas) y luego es la lógica, que está en función del grado de admisibilidad que dé la evaluación efectuada.

Está clara la pregunta de cuándo las probabilidades son las evaluaciones adecuadas para tratar un problema empírico dado. También está clara la pregunta de por qué cuando actúan más de un “observador”, la probabilidad elegida es única y no una diferente para cada uno de ellos o bien, para cada uno la probabilidad es variable en función de, por ejemplo, el tiempo (a medida que transcurre éste se acumula, o al menos varía, la información en poder del observador), o del tipo de proposiciones o de las características del tema de discurso. Evidentemente, todo esto introduce un gran relativismo en este tipo de estudios.

En cualquier caso, hay que pensar que al aplicar la probabilidad a “juicios, sentencias, ...”, aunque éstos se representen por subconjuntos

de un cierto referencial, es muy difícil dejar de tener en cuenta a quien los emite, al observador o al aparato de observación, y a su posible nivel de datos y de error, así como al proceso de aprendizaje que en él se dará por la variación de sus conocimientos y la hipótesis, fundamental de que quiere cuando menos perfeccionarlos, siendo la cibernética un ejemplo de esto último.

Entre los varios intentos de abordar este tipo de problemas, muy relacionados con los actuales desarrollos en las ciencias experimentales y en las del comportamiento hay que citar los trabajos de Satosi Watanabe, que ha intentado reconstruir la lógica en base a liberar a la función característica asociada a cada par (x, X) de valer sólo 0 ó 1, permitiéndole valer cualquier número entre 0 y 1, derivando las operaciones lógicas entre las proposiciones con independencia de las operaciones que la teoría de conjuntos clásica permite aplicar a los objetos y a partir de la opinión, absolutamente razonable para muchos lógicos desde Ch. S. Peirce, de que la implicación es la operación lógica básica (que permite reconstruir la conjunción, la disjunción, etc.). En su trabajo, Watanabe fija una axiomática de tal naturaleza que, ya de entrada, el artefacto de control que introduce para las funciones características generalizadas es típicamente estadístico; con ello, nada tiene de extrañar que en un caso particular dado tales funciones pasen a ser únicamente los valores de una probabilidad, con lo cual si el retículo (la lógica) que construye no es distributivo, como ha de suceder por la inspiración mecánico-cuántica subyacente, contiene un subretículo básico distributivo.

En realidad, Watanabe, al igual que Bruno de Finetti, se enfrenta con el problema impuesto por la nueva situación científica, de la falta de definición, de la inexistencia de bordes precisos, de la falta de clasificación al estilo de las particiones; pero lo hace para un tipo de problemas que poseen un núcleo que “debe” ser medido en el mismo sentido que lo es. Entonces tal núcleo queda perfectamente modelizado con un instrumento poco diferente del clásico de la probabilidad, pero, pese al evidente

interés que tales trabajos presentan para la interpretación de cuestiones de la mecánica cuántica y que permite tocar desde una cierta distancia la problemática teórica del reconocimiento de patrones, queda un halo externo a tal núcleo en el que la imprecisión aún no está aclarada.

Con estas consideraciones se alcanzan las palabras clave: *concepto inexacto*. Watanabe apunta varias cuestiones apasionantes y que pueden provocar en un futuro la gran rotura con la lógica clásica. En primer lugar, el hecho de que las neuronas no procesan la información, como se creyó en los años cuarenta en una base binaria como en la lógica booleana, sino que la información en el sistema nervioso parece ser codificada y procesada en términos de variables continuas. En segundo lugar el hecho de que no es cierto en general, como usualmente se hace para simplificar, que en un sistema el estado en un nivel alto quede determinado por el estado en un nivel bajo (por ejemplo, el estado psicológico lo está por el neurofisiológico, el biológico por el físico, etc.) y así, la temperatura T de un sistema no está completamente determinada por la energía de un estado microscópico a ; por tanto la función característica de la relación entre a y T no es binaria.

Watanabe afina mucho cuando dice que “What is important... is the idea that probability is more basic and more natural to our thinking than logic”. En efecto, al considerar que, frente a todos estos problemas científicos de hoy la lógica, en contacto con artefactos de medida y enfocada por la vía funcional, podrá dar lugar a un gran instrumento para progresar en el conocimiento de las leyes del pensar, al igual que en su momento lo hizo con Aristóteles y los grandes lógicos de la antigüedad, que no disponían de otro método de experimentación que la simple introspección. La vía funcional es, en alguna manera, la que puede sustituir la booleanidad de las clases bien-definidas por funciones características variando continuamente en $[0, 1]$ y que busca las operaciones “lógicas” entre las nuevas clases que se definen, bien a partir de las propiedades que se desean (en virtud de unas hipótesis adecuadas a la

naturaleza de los problemas a considerar) o bien como consecuencia de los dictados de la experimentación y la observación.

En esta vía, la lógica que se ha estudiado en el campo matemático desde Boole hasta nuestros días, y la que se continúe estudiando, es un importante referente a utilizar a lo largo de un camino que tiene al fondo junto al problema de “clasificación”, el de la “evaluación”.

3.3. La lógica multivalente

Se dedican ahora las siguientes páginas a la descripción breve de la Lógica multivalente no solo por ser una importante generalización de la lógica clásica sino por ser “puerta de entrada” a la Lógica Borrosa.

Es posible que la lógica multivalente sea la más antigua de las desviaciones de la lógica aristotélica. Algunos tratadistas quieren ver en el mismo Aristóteles (en “De Interpretatione, 9”) la primera idea de la lógica trivalente; el Estagirita analiza allí la proposición “Mañana habrá una batalla naval” y precisa que si, en este momento, la proposición es cierta la futura batalla naval sería necesaria y el futuro estaría determinado, lo que sucede análogamente si la proposición es falsa. Hay que poner atención, no obstante, en que ello no significa que Aristóteles diese un tercer valor de verdad a este tipo de proposiciones “contingentes de futuro” y Ferraté Mora considera que atribuirle la fundación de la lógica trivalente es arriesgado. Posiblemente no lo es tanto atribuírsela a Guillermo de Occam (1298-1349) quien, en su obra “Summa Logica” y al comentar el “De Interpretatione”, parece llegar a un sistema trivalente al dar un esbozo de tablas de verdad. Con seguridad, no obstante, se puede atribuir al matemático ruso N. N. Vasilév profesor en la Universidad de Kazán (en la que había sido profesor N. I. Lobachewsky) la fundación, en los años 1909 y siguientes, de la lógica multivalente; su idea, paralela a la de Lobachewsky que había eliminado de la geometría euclídea el postulado de las paralelas fue la de eliminar de la lógica aristotélica el principio del tercero excluido.

Pueden encontrarse dudas respecto de la ley de bivalencia (“toda proposición es o bien verdadera o bien falsa”) o afirmaciones rotundas de ella, lo que presupone el pensar en su posible invalidez, en muchos tratadistas antiguos. Aparece plenamente afirmada por primera vez con Crisipo (281-208 antes de J.C.) como un principio de su didáctica, que se puede aceptar como representando al actual cálculo proposicional, y es terminantemente rechazado por los epicúreos (Epicuro, 341-270 antes de J.C.).

Realmente fue Jan Lukasiewicz (Lwow, 1878-Dublín, 1956) quien, en su trabajo de 1920 “O logice trójwartosciowej” introdujo decididamente la lógica trivalente. Son las palabras finales de este artículo: “Si este nuevo sistema de lógica tiene o no importancia práctica, *es algo que solo podrá determinarse cuando se examinen en detalle fenómenos lógicos, y en especial los que se dan en las ciencias deductivas, y cuando las consecuencias de la filosofía indeterminista, que es el sustrato metafísico de la nueva lógica, se comparen con los datos empíricos*”. Así J. Lukasiewicz introdujo esta nueva lógica desviada en forma puramente algebraica.

En sus desarrollos Lukasiewicz acepta proposiciones con un tercer valor lógico de verdad que puede interpretarse como la “posibilidad”. En cuanto a la interpretación de los valores de verdad diferentes del 0 (“verdad”) y del 1 (“falso”), está claro que depende de la interpretación que, fuera del cálculo algebraico, quiera dársele a la desviación lógica elegida.

Lukasiewicz llegó, en cierta manera, a la lógica multivalente preocupado por problemas de la lógica modal (acepta “matizaciones” en la verdad, *modalidades* de la verdad). La lógica que se ocupa de tales matices se llama Lógica Modal y las palabras clave son, por ejemplo, “posible”, “necesario”, “contingente”, etc. Hay que decir que la lógica modal (en sus diversas variedades) ha tenido un gran desarrollo contemporáneo.

Independientemente de Lukasiewicz y en 1921, Emil Post (1897-1954), publicó su artículo “Introduction to the general theory of elementary propositions” (American Journal of Mathematics, 43 (1921), 163-185) en el que con el ánimo de perfeccionar esa parte de los “Principia Mathematica” de Whitehead y Russell introdujo el sistema multivalente que lleva su nombre y que ha sido muy fecundo estudio de los circuitos no-binarios. El sistema de Post fue algebraizado en varias etapas y pueden considerarse como esenciales los trabajos de P. C. Rosenbloom, “Post álgebras I. Postulates and general theory”, Amer. J. of Maths., 64 (1942), 167-188; de T. Traczyk. “Axioms and some properties of Post Algebras”, Coll. Math., 10 (1963), 193-209; de G. Epstein, “The lattice theory of Post algebras”. Trans. of the Amer. Math. Soc., 95 (1960), 300-317.

Por su parte Lukasiewicz, solo y en colaboración con Alfred Tarsky. (Varsovia, 1901; en USA, desde 1939), estudió sistemas multivaluados de más de cuatro valores; uno de los más interesantes es el L_n en que los valores de verdad son la sucesión $\{0, 1/(n-1), 2/(n-1), \dots, n/(n-1), 1\}$, y en el cual aparece, en lugar del tercero excluido un principio que se puede llamar del n-simo excluido. La algebraización de los sistemas de lógica multivalente de Lukasiewicz fue realizada por M. Wajsberg (“Beiträge zum Metaaussagenkalkül”, Monatshefte für Math. und Physik, 42 (1935), 221-242).

3.4. La lógica borrosa

En la antigua Grecia, Zenón explicaba cómo un montón de arena, si se retiraba grano a grano, pasaba a ser un montón existente para convertirse en un montón inexistente. Esta gradualidad también era reseñada por Budha quien dijo lo mismo de un carro que se desmonta pieza a pieza, pasando a ser un no-carro. Hacia 1900 Bertrand Russell mencionó de nuevo ésta y otras paradojas cuando estaba escribiendo junto con Alfred North Whitehead un libro sobre lógica, el más importante desde los tiempos de Aristóteles.

Russell observó que “todo concepto es vago en un grado del que no somos conscientes hasta que intentamos precisar dicho concepto”. Según esta afirmación, en nuestro lenguaje hay una percepción común de las expresiones que utilizamos habitualmente, no siendo estas cuestionadas hasta que nos proponemos una definición exacta de las mismas, por ello, cuanto más intentemos precisar un concepto más difícil nos será encontrar una definición cierta de la misma, se me ocurre por ejemplo que el concepto de “tiempo” puede ser realmente de imposible definición actualmente, es un concepto en el que todos estamos inmersos, del que todos hablamos constantemente, pues bien, al intentar definir este simple concepto nos encontramos ante un muro insalvable, ya que la enumeración de cualquier concepto no lo hace comprensible por sí mismo, sino que necesita para su validez de una explicación cierta y aquí ya nos encontramos con uno de los grandes problemas de la física actual, sirva este pequeño ejemplo para ayudarnos a comprender en un caso extremo cuánto de borroso tiene cualquier idea o expresión de la idea que queramos formular.

Russel había abierto nuevos caminos por los que explorar en esta nueva vía borrosa. Pronto llegaron otros tomando su relevo. Sería Jan Lukasiewicz quien desarrollara la lógica borrosa o polivalente como una extensión directa de la lógica binaria. Su teoría se basaba en que todas las proposiciones eran verdaderas o falsas hasta cierto punto, la única condición real era que los porcentajes de verdad tenían que sumar en total el 100 %, lo cual implica en sí misma otra paradoja, ya que su resultado o salida final tiene que ser una expresión 100% verdadera, (esto partiendo de la base de que exista una verdad absoluta al 100%), esto tendría como consecuencia el que si hay al final un 100 % de verdad en una afirmación también puede ser que haya un 100% de falsedad o de no-verdad, con esto quiero decir que si elaboramos un sistema borroso o una lógica borrosa con unas reglas borrosas o imprecisas en un porcentaje determinado se puede pensar que la salida o resultado de estas mismas reglas borrosas difícilmente puede ser de un 100 % en su

porcentaje total, resultando todo ello un círculo en el que dichas lógicas, la binaria y la borrosa, se cruzarían para llegar a un mismo resultado incierto.

La siguiente aportación a la lógica borrosa llegaría de la mano del filósofo cuántico Max Planck, quien en 1937 publicó un trabajo sobre lo borroso en una revista científica, dibujando el primer gráfico de un conjunto borroso. La comunidad científica no le prestó atención, al estar inmersa plenamente en un período de “positivismo lógico”. Esta doctrina o dogma propugnaba que solo las proposiciones formales de la ciencia, las matemáticas o la lógica tenían un sentido, privando de este sentido al lenguaje común. Estos filósofos querían conseguir un máximo de precisión en todo tipo de expresiones, formulando que sólo la ciencia era capaz de conseguir una plena descripción del mundo y sus reglas.

La lógica borrosa se introdujo en la ingeniería en 1965 de la mano de Lofti Zadeh, entonces jefe del departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad de California en Berkeley. Este publicó en una revista su trabajo “Conjuntos borrosos”, que constituyó todo un acontecimiento e hizo que el término borroso fuera un nuevo adjetivo utilizado por la ciencia.

Zadeh dice en su trabajo inicial “con frecuencia las clases de objetos que se encuentran en el mundo físico real no poseen criterios de pertenencia definidos con precisión... tienen un estatus ambiguo... Con todo, permanece el hecho de que tales “clases” definidas imprecisamente, desempeñan un papel importante en el pensamiento humano, particularmente en los dominios del reconocimiento de formas, de la inteligencia artificial, de la comunicación y de la información, así como de la abstracción”. Y opina de este modo que la teoría de los conjuntos borrosos facilita una manera natural de tratar problemas en los que la fuente de imprecisión es la ausencia de criterios nítidos de pertenencia a una clase.

Muchos han encontrado, en la teoría de Zadeh, la manera de plasmar “en fórmulas” descripciones vagas en relación con clases “mal definidas”, entre las que no se mantienen las leyes del tercero excluido y de no-contradicción; siendo así que la formulación es una de las ayudas que la Matemática presta. El éxito de la teoría se ha producido en momentos en que la economía, la sociología, la lingüística, la estética, la medicina, la psicología..., requerían un nuevo nivel de matematización para seguir avanzando.

Zadeh había llegado a los Estados Unidos procedente de Irán para estudiar en el Instituto de Tecnología de Massachusetts y luego en la Universidad de Columbia. En la década de 1950 contribuyó a establecer las bases de la moderna teoría de sistemas.

El gran logro de Zadeh fue dar a este campo de la lógica borrosa un nuevo nombre, una nueva ubicación y un marco matemático totalmente nuevo. Realizó por su cuenta una amplia investigación, escribiendo en publicaciones científicas, dando conferencias por todo el mundo en seminarios y congresos durante décadas, contribuyendo así de manera decisiva a la publicación e interés de la comunidad científica en todo el mundo, lentamente los investigadores de lo borroso publicaban en revistas casi desconocidas y con el tiempo llegaron a publicarlos en sus propias revistas. Tenían que luchar contra el apelativo de “borrosos” y aún lo siguen haciendo hoy en día, teniendo que vencer muchas reticencias en el mundo académico.

En Copenhague y ya en 1980, la empresa F.L. Smidt & Company utilizó un sistema borroso de reglas para controlar un horno de cemento, tarea muy ardua y costosa para el personal humano, esto sirvió para que los japoneses se interesaran en las aplicaciones industriales. Estos países integraron rápidamente la lógica borrosa en su industria, permitiendo así un desarrollo superior al de Occidente al menos en un principio, en la actualidad se encuentran infinidad de dispositivos borro-

sos, sobre todo orientados al mercado electrónico de chips, destinados desde aparatos fotográficos a dispositivos destinados a la conducción de trenes.

Estas y otras aplicaciones surgieron a partir del trabajo de Ebrahim Mamdani del Queen Mary College de Londres. Mamdani fue el primero en desarrollar y aplicar lo que fueron los predecesores directos de lo que actualmente conocemos como los sistemas borrosos basados en reglas. Los trabajos realizados por Mamdani constituyeron el inicio de la moderna ingeniería borrosa, permitiendo además el salto de la teoría a la práctica algo de enorme importancia para cualquier idea en la ciencia.

En Japón y ahondando en lo dicho anteriormente, estas ideas fueron desde un comienzo acogidas con entusiasmo tanto en el espíritu de la idea como en sus implicaciones económicas. El ministerio japonés de comercio exterior e industria (MITI) se reunió en marzo de 1989 con representantes de 40 empresas para fundar con un presupuesto de 70 millones de dólares el Laboratorio para la Investigación Internacional de la Ingeniería Borrosa (Laboratory for International Fuzzy Engineering Research, LIFE) en Yokohama. Dicho programa estuvo en activo desde 1989 hasta la primavera de 1995.

Un momento clave de dicho desarrollo industrial llegó en 1988 cuando Hitachi sometió a control borroso el metro de la ciudad de Sendai, al norte de Tokio. Luego llegó la riada de hornos inteligentes, sistemas para automóviles, controles robotizados y cientos de otros aparatos. El sistema borroso del metro de Sendai sustituyó a los conductores humanos a lo largo de casi 14 km. Se comprobó que el tren realizaba las paradas con mayor suavidad y utilizaba menos combustible que los mejores conductores humanos.

De esta manera la lógica borrosa se convirtió en una tendencia de rango superior dentro de las ciencias y la tecnología.

3.5. Subconjuntos borrosos

3.5.1. Función de pertenencia

Con el fin de adentrarse en las técnicas válidas para el tratamiento de la incertidumbre, se parte de un concepto muy general y primario de la matemática. Se refiere a la noción de conjunto, más concretamente a la de conjunto referencial.

Un conjunto referencial, que se acostumbra a representar por una letra mayúscula E , reúne todos los elementos que constituirán la base o “referencia” de cualquier operación posterior.

En matemáticas se denomina “conjunto” a toda colección de objetos bien definidos y distintos entre sí. Así se tiene el conjunto de las letras del alfabeto, el conjunto de puntos de un plano, el conjunto de números enteros; no se puede, en cambio, referir al conjunto de caracteres que forman las palabras de esta página (están repetidas). Cuando pueden contarse los elementos que forman el conjunto, se dice que es numerable; en caso contrario se dice que es infinito no numerable. Cuando la enumeración de estos elementos alcanza un final, se dice que el conjunto es finito.

Los elementos se acostumbran a designar mediante letras minúsculas a, b, c, \dots . De esta manera es habitual escribir:

$$E = \{a, b, c, d, e, f\},$$

en donde a, b, c, d, e, f son los elementos del conjunto referencial E .

En los estudios clásicos también es frecuente representar el conjunto referencial de la siguiente manera:

$$E = \frac{a \quad b \quad c \quad d \quad e \quad f}{1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1}$$

donde a un elemento, si posee una propiedad, se le asigna un 1 (y por tanto pertenece al conjunto referencial) y cuando no la posee, un 0. Los valores situados dentro de las casillas (en la lógica booleana 1, 0) son los valores de una función (binaria) denominada función característica de pertenencia o función de pertenencia. Se designa normalmente por $\mu(x)$, en donde x son los elementos del referencial. Partiendo del referencial y dada una determinada propiedad, se pueden escoger del mismo aquellos elementos que la poseen y que, por tanto, formarán un subconjunto de referencia representado así:

$$E = \{b, d, e\}$$

y también:

$$E = \frac{a \quad b \quad c \quad d \quad e \quad f}{0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 0}$$

es decir, 1 si cumple o posee, y 0 si no cumple o no posee la proposición o propiedad. Así, el subconjunto A de E puede representarse como un conjunto de pares ordenados, tantos como elementos de E , cuyas primeras componentes son los elementos de E y las segundas los valores de la función característica.

$$A \subset E \rightarrow A = \{x; \mu_A(x)\} \quad \forall x \in E$$

$$\mu_A(x) \rightarrow \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases}$$

de esta manera, en los subconjuntos ordinarios o vulgares, la pertenencia de un elemento al subconjunto es de todo o nada.

La definición de un subconjunto borroso no plantea en principio problema alguno, si se toman en consideración proposiciones claramente diferenciables entre sí, por ejemplo la determinación de colores conocidos por todos, esto formaría parte de una definición claramente booleana en la que la decisión sea 0 o 1, pero en la vida real la mayoría de las situaciones a las que se enfrenta la lógica carecen de esta claridad, siendo necesaria la introducción de variables que permitan una mayor definición de esta vaguedad. Para reflejar así mejor la realidad surge la noción de subconjuntos borrosos. Así, dado un conjunto referencial se construyen subconjuntos de tal manera que la función característica de pertenencia $\mu_A(x)$ puede tomar sus valores no sólo en el conjunto $\{0,1\}$ sino en el segmento $[0,1]$:

$$\begin{aligned} \mu_A : E &\rightarrow [0,1] \\ x &\rightarrow \mu_A(x) \end{aligned}$$

asignando un valor tanto más cercano a la unidad cuanto más se acerque o cumpla el elemento considerado la propiedad o proposición establecida. El subconjunto borroso se representa de la siguiente manera:

$$\underline{A} = \frac{a \quad b \quad c \quad d \quad e \quad f}{0,2 \quad 0,9 \quad 1 \quad 0,6 \quad 0,5 \quad 0}$$

$$\underline{A} = [(x; \mu_{\underline{A}}(x))] \quad \forall x \in E$$

siendo $\mu_{\underline{A}}(x)$ el grado de pertenencia de x a \underline{A} y $[0,1]$ el espacio de pertenencia.

4. Relaciones borrosas

Una relación ordinaria (crisp) representa la presencia o la ausencia de asociación, de interacción, o de interconectividad entre los elementos de dos o más conjuntos. Este concepto se puede generalizar para tener en cuenta varios grados o fuerzas de relación o de la interacción entre los

elementos. Los grados de asociación se pueden representar a través de los grados de pertenencia en una relación borrosa de la misma manera que los grados de pertenencia se representan en un conjunto borroso. Así, mientras el conjunto crisp se puede ver como un caso restringido del concepto más general del conjunto borroso, la relación crisp se puede considerar como un caso particular de la relación borrosa.

En cualquier estudio económico los expertos proporcionan los parámetros que intervienen, así como las técnicas de agrupación, ordenación y clasificación de estos. Entre otras técnicas, una de las más usadas sería la escala semántica endecadaria que, tal y como ha sido mostrado en páginas anteriores, queda definida de la siguiente forma:

Valor de posibilidad	Significado semántico
0	falso
0,1	prácticamente falso
0,2	casi falso
0,3	pronunciadamente falso
0,4	más falso que verdadero
0,5	ni falso ni verdadero
0,6	más verdadero que falso
0,7	pronunciadamente verdadero
0,8	casi verdadero
0,9	prácticamente verdadero
1	verdadero

Para varios valores de posibilidad en una misma proposición incierta, normalmente la técnica utilizada consiste en establecer dichos valores en función de la importancia asignada por los distintos expertos. Si no hay grandes diferencias entre estos valores, la consideración o ponderación de estos se convierte en una media aritmética. De esta manera se realiza una sistematización de todo el proceso, pero sin que disminuya su aspecto fundamental: la subjetividad y experiencia del asesor o experto. En estos procesos de clasificación son fundamentales los pará-

metros que rigen todo el proceso ya que solamente estos, en conjunción con el modelo utilizado, son los que van a definir el proceso.

La inteligencia artificial intenta imitar la capacidad de raciocinio y decisión de la que dispone el ser humano. Las redes neuronales, algoritmos genéticos, el aprendizaje automático y el tratamiento del lenguaje son buenas muestras de lo alcanzado en esta rama del conocimiento humano.

Lo que se pretende en este apartado es mostrar una estructura teórica general diseñada a la par por el analista y el experto. La estructura producto de esta colaboración tiene que resultar flexible permitiendo adaptarse a los posibles cambios de una manera ágil y rápida, obtener un comportamiento racional con el fin de abstraerlo y utilizar esta estructura para otros fines en los que pueda servir perfectamente.

Esto es resultado de la combinación de una retahíla de hechos, donde residen todos los datos que el experto necesita y una base de conocimiento, que nos provee de estrategias y reglas mediante las cuales los datos se procesan para poder obtener los valores que precisamos. La característica primordial consiste en la concordancia del experto con el analista, no conociendo ninguno de ellos la problemática a estudiar.

Para ello el analista utiliza un lenguaje muy similar al lenguaje ordinario, transcribiendo únicamente el lenguaje del experto en cuanto los símbolos y procedimientos puedan utilizarse en el tratamiento de los datos con el fin de utilizarlos mediante modelos para el tratamiento de la incertidumbre. La diferencia principal que tiene este método comparado con el proceso matemático tradicional consiste en que los datos son inferidos a partir del conocimiento del experto. De esta forma se privilegia un conocimiento más de tipo práctico que teórico.

Pero esta técnica también tiene sus inconvenientes siendo el principal la traducción de los datos obtenidos a reglas borrosas que precisan de la

utilización de una lógica multivalente para su correcto tratamiento. Por esta razón se utilizan frecuentemente metodologías provenientes de la inteligencia artificial, tales como la monitorización, el diagnóstico o la planificación.

Reglas de inferencia

Para investigar los conocimientos prácticos del experto, deben asimilarse mediante reglas que pueden afectar o no, a un hecho fundamental. Esto se llama conocimiento condicional, y la formalización de la regla es como sigue:

SI [condiciones] ENTONCES [conclusiones]

Un conocimiento interdependiente sirve para relacionar entre sí los distintos elementos que conforman el problema a considerar. Un ejemplo de este caso puede ser perfectamente las diversas ponderaciones de las variables que pueden intervenir en el proceso de agrupación en función de unas características inciertas. La base de hechos y la base del conocimiento se mantienen separadas para que no haya perturbaciones que puedan interferir en el resultado final. Las reglas fundamentales del sistema son de la forma:

SI $[A_1 \wedge A_2 \wedge \dots A_n]$ ENTONCES [B] con un grado de certeza α

Es necesario concatenar las diversas reglas para obtener otras nuevas. La concatenación debe conseguir simular el razonamiento humano del experto, por lo que la interrelación se convierte en esencial. En este tipo de sistemas el razonamiento tanto puede ir adelante, de forma que si se han verificado las hipótesis se da por buena la tesis, como atrás, de forma que si se ha verificado una cierta tesis el razonamiento verifica si las hipótesis eran ciertas o no (todo ello con un cierto grado de certeza). En caso de no serlo, se deduce que esta regla no es válida, y se eliminaría del conjunto de reglas.

5. Procesos de similitud

En muchas disciplinas del conocimiento se estudia la semejanza entre unos objetos dados. Para ello se dispone del elemento original y se le distorsiona aleatoria o de una manera definida para estudiar su comportamiento y comprobar de qué manera afecta esta perturbación al objeto estudiado.

Se trata de reconocer al modelo original en la perturbación obtenida y así medir la distancia o similitud en los objetos. Para ello hay varias opciones matemáticas. Una de ellas es construir un determinado modelo matemático en el que podamos eliminar la perturbación y de esta forma llegar al modelo original. De otra forma, si se quiere evaluar la similitud o semejanza entre dos objetos diferentes, se deben definir un conjunto de características que identifiquen ambos, ya que con este planteamiento no podemos afirmar que exista una conversión que nos lleve de un objeto a otro.

Llegados a este punto es conveniente recalcar que, en el ámbito de la incertidumbre, la similitud o semejanza se debe calcular entre subconjuntos borrosos determinados a partir de los conjuntos de atributos que describen los objetos que se consideran.

Se han realizado trabajos en Psicología, como por ejemplo los de Tversky, efectuados con países, figuras y señales en los cuales se demuestra que la percepción humana de las cosas no sigue de una manera estricta algunas de las propiedades que se consideran básicas para medir objetos de naturaleza geométrica. Por esta razón y otras no menos importantes, el cálculo de la semejanza no solo es un problema matemático, sino que también es un problema de moldeado de la percepción humana.

Si se mirara desde una óptica exclusivamente matemática los objetos serían al fin y al cabo vectores, matrices o cualquier otro objeto al-

gebraico y en cambio en el caso que se menciona estos elementos son solamente su representación.

De esta forma un experto podría evaluar la semejanza, pero lo haría con su propio juicio de manera intrínsecamente humana, podría ser perfectamente asimétrico. En estos casos se aconseja optar por un modelo matemático no simétrico, cuya principal ventaja es que sistematiza todo el proceso. Se debe intentar por todos los medios emular el proceso de cognición humana en la máxima extensión posible. Y es aquí donde la teoría de los subconjuntos borrosos ha demostrado ser de una gran utilidad puesto que permite un enorme número de posibilidades metodológicas.

Si la agrupación de objetos es realizada de forma que los elementos de un mismo grupo se asemejan más entre ellos que con los de otro grupo, este proceso es susceptible de una matematización del concepto de semejanza. Esto se consigue definiendo la medida de distancia entre los elementos, de manera que cuanto más se asemejen estos elementos más grandes es el valor de la medida (y más pequeña la distancia). En el presente capítulo no se pretende realizar el análisis de la teoría de clústers sino reconsiderar e introducir algunos conceptos importantes utilizados en esta teoría para después poder aplicarlos en la parte empírica de este proyecto de investigación.

6. Afinidades

Innumerables son los problemas para resolver en el ámbito de la decisión, apareciendo así la necesidad de establecer grupos homogéneos, realizando de esta manera una selección adecuada de uno de los conjuntos o separar los grupos que no cumplen los requisitos exigidos. Esta meta, en apariencia sencilla, se ve complicada por multitud de circunstancias, muchas veces motivadas por intereses políticos, económicos o estratégicos, que en muchas ocasiones ocultan la verdadera naturaleza y las características de los objetos a estudiar. Todas estas y otras circunstancias

sugieren los estudios de agrupación y/o separación de dichos objetos en subconjuntos con un adecuado grado de homogeneidad, estando relacionado con determinadas características adecuadamente especificadas.

Dichos estudios han sido desarrollados bajo la idea de afinidad. La elaboración de este concepto alcanza hoy notable desarrollo en su utilización para resolver múltiples problemas que se plantean en los diferentes ámbitos de la realidad actual.

Se presentan a continuación unos elementos teóricos y técnicos elaborados por los matemáticos A. Kaufmann y J. Gil Aluja, con los cuales se alcanzará un alto nivel de flexibilidad y adaptabilidad orientados a enfocar problemas derivados de la necesidad de agrupar una variada clase de objetos tanto materiales como mentales y su posterior estructuración y ordenación. Aunque en el origen de la teoría de la decisión en la incertidumbre el concepto de orden constituye el principal objetivo a alcanzar, en muchas ocasiones este orden no es posible sin un previo proceso de agrupación capaz de filtrar los elementos homogéneos o indiferentes, de aquellos que no lo sean, es aquí cuando aparece el papel fundamental de la noción de afinidad, que permite no solo agrupaciones homogéneas sino estructuras formadas por grupos que mantienen un orden eficaz.

6.1. Concepto y contenido de las afinidades

El intento de generalización de la noción de similitud con objeto de poder abordar el tratamiento de relaciones representadas a través de matrices rectangulares fue iniciado por el Prof. Jaime Gil Aluja junto con el Prof. Arnold Kaufmann en los años ochenta. El resultado en estos trabajos dio lugar a una “teoría de las afinidades”.

La palabra de afinidad en el sentido propuesto surge a raíz de una ponencia que presentaron profesores J. Gil Aluja y A. Kaufmann en el IX Congreso Europeo de Investigación Operativa, recogida y ampliada

posteriormente en otros trabajos. Creemos necesario proceder a su definición: *“Definimos las afinidades como aquellas agrupaciones homogéneas a determinados niveles, estructuradas ordenadamente, que ligan elementos de dos conjuntos de distinta naturaleza, relacionados por la propia esencia de los fenómenos que representan”*.

Es necesario señalar, que a diferencia de la noción de semejanza en donde la relación tiene lugar entre elementos de un mismo conjunto y de ahí su representación mediante matrices cuadradas definidas en $E \times E$, la noción de afinidad permite relacionar los elementos de un conjunto con los elementos de otro, lo cual queda representado a partir de matrices rectangulares definidas en $E_1 \times E_2$. La obtención de subrelaciones máximas consiste en la obtención de una “cobertura” de la relación $R \subset E_1 \times E_2$.

Como herramienta eficaz la teoría de las afinidades en su relación con la economía y la gestión de empresas ha tenido una importancia nada desdeñable. Tomemos como ejemplo, la revolución que ha producido en los procesos de “segmentación”, en ellos la posibilidad de presentar todas las agrupaciones homogéneas al mismo nivel y estructuradas mediante un retículo de Galois permite una información global, y a su vez ordenada individualmente, lo cual no era disponible hasta la fecha. Las aplicaciones que han tenido como base dicha teoría han sido múltiples y de una importancia significativa. Algunas han encontrado nuevas pautas en la solución de problemas, toscamente afrontados en el pasado: gestión de personal, análisis financiero, gestión organizativa, gestión comercial y gestión deportiva, etc. Y las posibilidades de estas estructuras formales, cobijadas bajo el manto de la pretopología, siguen aumentando a medida que transcurre el tiempo.

Se puede observar la existencia de tres aspectos configuradores del concepto de afinidad. El primero hace referencia al hecho de que la homogeneidad de cada agrupación se halla ligada al nivel escogido. Según

la exigencia de cada característica (elementos de uno de los conjuntos) se asignará un nivel más o menos elevado definidor del umbral a partir del cual existe homogeneidad. El segundo expresa la necesidad de que los elementos de cada uno de los conjuntos se hallen ligados entre sí por ciertas reglas de la naturaleza en unos casos o por la voluntad humana en otros. El tercero exige la construcción de una estructura constitutiva de un cierto orden susceptible de permitir la posterior decisión.

La finalidad de la agrupación, por una parte, y el tipo y fuerza de la relación entre los elementos de uno y otro conjunto, por otra, determinarán de manera inequívoca, a partir de ciertas propiedades que se estudiarán, todas las agrupaciones posibles. Una vez especificado el objetivo a alcanzar resulta imperativo fijar un proceso susceptible de alcanzar los resultados apetecidos. Para ello, también se utilizan ciertos elementos derivados del análisis combinatorio y de los estudios reticulares.

Conclusiones

El entorno en el que hoy en día vive la sociedad y gran multitud de empresas puede ser caracterizado por ser altamente complejo, dinámico, ambiguo, con un elevado grado de incertidumbre, lo cual implica un entorno turbulento y cambiante. Esta realidad, a su vez, comporta muchos cambios en los aspectos que antes parecían ser evidentes y previsibles. El crecimiento de la competitividad en prácticamente todas las esferas de la actividad humana, como consecuencia de la globalización de los mercados, no ha tardado en ponerse en plena evidencia. Para combatir este fenómeno y sobrevivir en el mercado moderno es imprescindible, en primer lugar, cambiar la percepción de los hechos, y, en segundo lugar, cambiar y mejorar las estrategias de comportamiento para hacerlas más flexibles e innovadoras.

Para llegar al objetivo de cumplir los objetivos que dictan las líneas del desarrollo de la sociedad contemporánea se introducen cada

vez más nuevas técnicas y herramientas capaces de resolver los problemas con los que se enfrentan las empresas y los individuos en particular. La importancia de las nuevas teorías y de los conceptos teóricos desarrollados en la base de una incertidumbre ganan en fuerza y rapidez. Algunos conceptos matemáticos clásicos que ayer eran indiscutibles hoy en día han sufrido ciertas reconsideraciones y replanteamientos adaptándose a los nuevos retos que exige el mundo actual. La matemática de la incertidumbre basada en la lógica borrosa ha ocupado su lugar en todos los ámbitos de las actividades humanas. Los razonamientos difusos se apoderan con más amplitud y sin precedentes de los procesos de la actividad.

Con la información expuesta hemos intentado demostrar que se considera que ha surgido el momento apropiado y evidente para poder probar nuevos métodos matemáticos relativos a la incertidumbre que han demostrado su eficacia.

Basándonos en todo lo desarrollado en las páginas anteriores hemos intentado ofrecer una visión general sobre el estado de los temas relacionados como la aplicación de unas herramientas matemáticas prácticas para la adopción de decisiones en las situaciones de inestabilidad e incertidumbre.

Referencias

- Assilian, S., & Mamdani, E. H. (1974). Learning control algorithms in real dynamic systems. In 4th IFAC/IFIP International conference on digital computer applications to process control (pp. 13-24). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dubois, D., & Prade, H. (1978). Operations on fuzzy numbers. *International Journal of systems science*, 9(6), 613-626.
- Gil Aluja, J. (1999). Elementos para una teoría de la decisión en la incertidumbre. Milladoiro.

- Gil Aluja, J., & Kaufmann, A. (1993). Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de la empresa. Santiago de Compostela, España: Milladoiro.
- Heisenberg, W. K. (1966). The uncertainty principle. *The World of the Atom*, Volume 1. Edited with commentaries by Henry A. Boorse and Lloyd Motz, with a foreword by II Rabi. Published by Basic Books, New York, 1966, p. 1094
- Kaufmann, A., & Gil Aluja, J. (1988). Modelos para la investigación de efectos olvidados. Milladoiro.
- Kaufmann, A., & Gil Aluja, J. (1990). Las matemáticas del azar y de la incertidumbre: elementos básicos para su aplicación en economía. Centro de Estudios Ramón Areces.
- Kaufmann, A., & Gil Aluja, J. (1993). Técnicas especiales para la gestión de expertos. Milladoiro.
- Kaufmann, A., Gil Aluja, J., & Gómez, A. T. (1994). Matemática para la economía y la gestión de empresas: Volumen I. Aritmética de la incertidumbre. Foro Científico.
- Kosko, B., & Isaka, S. (1993). Fuzzy logic. *Scientific American*, 269(1), 76-81.
- Lukasiewicz, J. (1920). On the history of the logic of propositions. *Polish logic*, 1939(1967), 67-87.
- Lukasiewicz, J. (1920). On the notion of possibility. *McCall*, 49, 15-16.
- Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1974). A case study on the application of fuzzy set theory to automatic control. In *Proc. IFAC Stochastic Control Symp.*
- Planck, M. (1937). *Die physik im kampf um die weltanschauung*. Barth.
- Russell, B. (1923). Vagueness. *The Australasian Journal of Psychology and Philosophy*, 1(2), 84-92.
- Takagi, T., & Sugeno, M. (1983). Derivation of fuzzy control rules from human operator's control actions. *IFAC Proceedings Volumes*, 16(13), 55-60.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.
- Zadeh, L. A. (1971). Quantitative fuzzy semantics. *Information sciences*, 3(2), 159-176.

- Zadeh, L. A. (1996). Fuzzy logic= computing with words. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 4(2), 103-111.
- Zadeh, L. A. (2008). Is there a need for fuzzy logic?. *Information sciences*, 178(13), 2751-2779.
- Zadeh, L. A. (2009). Toward extended fuzzy logic—A first step. *Fuzzy sets and systems*, 160(21), 3175-3181.
- Zadeh, L. A. (2015). Fuzzy logic—a personal perspective. *Fuzzy sets and systems*, 281, 4-20.

**DOES POLICY CONSISTENCY AFFECT
ECONOMIC GROWTH?**

DR. FINN E. KYDLAND
Honorary President of the
Observatory of Economic and Financial Research of the Royal
Academy of Economic and Financial Sciences of Spain
University of California, Santa Barbara

On June 15, 2010, I had the honour of being inducted as a Member of RACEF. In connection with that spectacular event, my wife, Tonya, and I had the pleasure of meeting Jaume Gil, benefiting from his immense hospitality and cheerfulness. I'm delighted to have to opportunity to make a contribution to this volume.

In the long run, nations prosper, in the sense of higher per-capita incomes, lower unemployment, lower poverty levels, and so on, the fewer the impediments are to steadily higher productivity, along with growing productive capacity to take advantage of the productivity growth. In large parts of the world today, however, the business environment is characterized by an extent of uncertainty that is unprecedented over the past several decades. The main reason is lack of clarity in economic policy making. In order to be properly informed and well founded, growth-promoting decisions, such as innovative activity, investment in new productive capacity, choice of new markets, and so on, require an assessment – an expectation – of the policy environment years into the future. Important policy dimensions are tax policy, spending and debt policy, extent of trade restrictions, and the regulatory environment in general. In this chapter, I contend that, based on economic theory, the increase in policy uncertainty over the past decade was quite predictable. Contexts from various parts of the world, such as the euro zone, the United States, and China, are used as illustrations from which one can learn what may work and what is unlikely to.

In doing so, I'll draw primarily on two theoretical foundations: the aggregate production function, which is central to all of macroeconomics, including growth theory, and the finding that optimal government policy is time inconsistent. (Given that the intended target audience for this volume includes readers without a PhD in economics, I'll spend a little extra time on the intuition of what the latter is all about.) For the growth of nations, I attribute a significant role to economic policy. I'm motivat-

ed in part by the tremendous economic differences, for decades, if not centuries, seen across the world, differences that are hard to explain without reference to the nations' political environments. But also, considering more specifically the most recent decade, and especially what led up to, and transpired after, the global financial crisis, my contention is that what has evolved economically in various parts of the world is sufficiently different that variations in the respective nations' economic policy surely must have played a significant role. A conclusion is that it's not clear the extent of uncertainty that has faced, and is still facing, those making growth-promoting decisions in the private sector will disappear any time soon.

Income Inequality Across the Globe

The disparity in nations' income levels is astounding. To be sure, measured income (or GDP) may provide a skewed picture of the associated welfare of the typical citizen of that nation. In some countries, an extensive informal sector means that many are better off than the statistics suggest. In other cases, the statistics on per-capita income may mask considerable inequality within that nation. Still, we have to take the statistics seriously, especially when the differences are large. Western European nations, along with countries such as the United States, Canada, Australia, Japan, Korea and Taiwan have annual per-capita incomes exceeding \$30,000. Many nations hover in the \$10,000-20,000 range. And then we have all those poor nations, many in Africa, with per-capita incomes under \$5,000, some even under \$1,000.

Figures 1 and 2 display some of these contrasts. Figure 1 graphs per-capita real GDP in a diverse set of nations. (All the numbers are in constant 2005 dollars, adjusted for purchasing power parity.) Some are notable for rather healthy and steady growth rates, doing a good job getting closer to the United States and Canada, which one may think of

as reasonable benchmark countries. These include Korea, Hong Kong, and Japan, although Japan has faltered in the past couple of decades. Some countries were at fairly similar levels to those three around the 1960s but have since grown strikingly more slowly than those other countries. They include Argentina, Chile, and Mexico. Included in the figure are two nations that were created after the break-up of the Soviet Union, namely Azerbaijan and Kazakhstan. These are both resource-rich nations that seem to have put that wealth to reasonably good use. (Note that, as the graphs are not on log scale, a given steepness of a curve near the bottom of the chart corresponds to much higher annual rate of growth than does that same steepness near the top of the chart.) Finally, in light of the attention China gets for its economic size, it may surprise you to see its low *per-capita* GDP.

Figure 2 graphs a set of sub-Saharan nations. Observe the different scale on the vertical axis as compared with Figure 1.

A way to organize our empirical knowledge about the growth of nations is in terms of the aggregate production function, which can be written as:

$$Y_t = A_t F(K_t, L_t),$$

in other words, a nation's aggregate output (say, as measured by real GDP) in any time period t is a function of its capital and labour inputs, but importantly enhanced over time if the technology, A_t , grows, as it should in a well-functioning economy.

Especially interesting from the perspective of this chapter is the fact that behind the production function lie decisions by millions of households and thousands of businesses, decisions that by their nature must be very much forward looking.

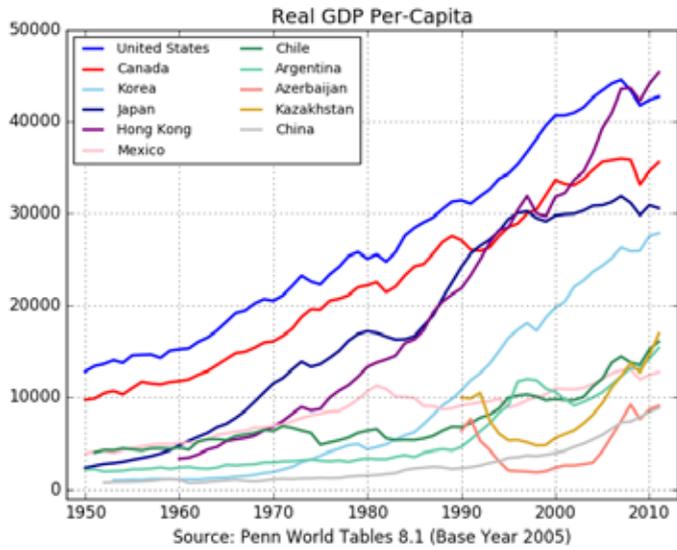


Figure 1: Per-capita Real GDP for several countries.

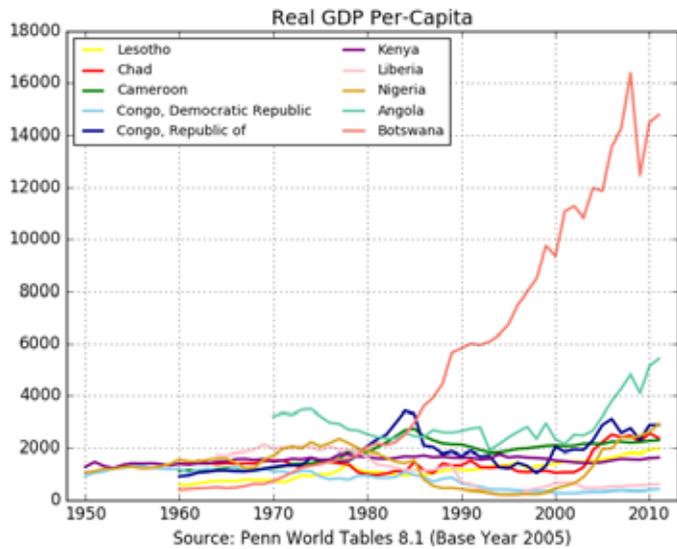


Figure 2: Per-capita Real GDP for African nations.

These activities are costly as they take place, but the returns come over years, perhaps decades, into the future. The capital stock is the sum of non-depreciated factories, machines, office buildings, accumulated as investment over the years leading up to period t . Behind the technology level lie past innovative activities whose outcomes by their nature were uncertain and in principle informed by the decision makers' view about the future environment. In the case of the labour input, as a first approximation its growth is more or less in line with the nation's growth of its working-age population. But even here, a dynamic aspect plays an important role. It's desirable for the nation and for the workers themselves that, at least in the long run, L grows faster than the working-age population, as people become more skillful at market production because of improving education, on-the-job learning, and so on. In other words, the accumulation of human, as well as physical, capital are important for long-run growth. (As an anecdote, the last time I was in Kazakhstan to attend the Astana Economic Forum, I was told by government officials that because of their exceptional growth, it had become difficult to find people with the right skills to keep the growth momentum going. This, of course, is in some ways a benign problem for a nation. As I could observe myself over several years, at least at the university level, in recent years they've been busy improving and expanding their educational system.)

Time Inconsistency of Optimal Policy

There's a lot of knowledge available. Why can it not be transferred to any place in the world, if necessary, with adaptation to local circumstances? What can account for the immense disparities we saw in Figures 1 and 2? In large part, it comes down to the nature of nations' governments, political systems and institutions, the presence of corruption or lack thereof, the kinds of restrictions they place on economic activity and trade, and so on. (An interesting account of these issues can be found in Parente and Prescott [2000].) But, perhaps surprisingly,

there's a potential source of problem even for the more well-to-do nations. I'll refer to this problem as *the time inconsistency of optimal government policy* (see also Kydland and Prescott [1977]), sometimes referred to as *rules rather than discretion*. It is intimately related to the forwardlookingness, just pointed out, of growth-promoting decisions as they affect aggregate A, K, and L. In particular, the streams of future returns from such high-expense decisions are affected importantly by the tax and regulatory environments at each point in time.

For some intuition about the problem, for now let's imagine an "ideal" world as our abstraction. Suppose there were a way to quantify, using a mathematical formulation, the welfare of the nation's citizens, today and indefinitely far into the future. A benign policy maker could then select policy (including tax policy) for the indefinite future so as to maximize this expression, that is, citizens' welfare. We may call the result *the optimal policy*. Naturally, this policy would take into account the effects of its future portion on earlier private-economy decisions, such as the effect future capital-income taxes have on current investment. In general, such a policy would represent a prescription for what to do under various pre-specified circumstances (as governments aren't the *only* source of uncertainty in the world!)

As this policy is being implemented, suppose everything is moving along hunky-dory. But suppose also, after five years, say, the policy maker (or some hot-shot quantitative expert in his office) gets the bright idea of recalculating the optimal policy from that point on. That really ought to be unnecessary, as in our ideal world, the economic environment has not changed (in terms of the relations describing the motion of the economy) and the original calculated plan includes a blueprint for what to do also for the upcoming future. But suppose one goes ahead anyway. To everyone's surprise, perhaps (except those who understand time inconsistency!), a completely different policy path will be found than the continuation of the original plan. The implication seems to be,

policy must change, in the interest of the nation's citizens. Not!!! Indeed, theory suggests that if the policy maker falls for the temptation to change, it would be bad, perhaps *very* bad, for society, as policy becomes much too focused on the short run at the expense of the long run.

What's the intuition for this inconsistency over time? Suppose we refer to year 0 as the year in which the original policy plan was determined. As mentioned, this policy takes into account, among other things, the effect policy (for example tax policy) from year 5 and beyond would have on private decisions (such as capital formation) in years 0, 1, 2, 3, and 4. But when year 5 arrives, those decisions for years 0-4 have already been made. So, in the re-optimization in year 5, only the policy effects on investment and other private-economy decisions in year 5 and beyond would be taken into account, resulting in a completely different policy prescription than the continuation of the original plan. In particular, the new plan would surely suggest raising taxes on the income from capital that has already been built, perhaps with the promise of reducing taxes again in the future. It might suggest increasing the inflation rate significantly so that the real value of outstanding government debt issued at fixed nominal interest rates would be dramatically reduced, indeed almost to zero if they went so far as to create a hyperinflation – not uncommon, for example, in Latin America in the 1980s. The government might try to justify the change by arguing that it's facing a near-emergency situation. But potential investors would have to worry, Might the policy maker pull that one off again in the future? Even the mere uncertainty about whether or not it will happen again is enough to depress investment activity and therefore long-term growth.

Now you may ask (and it's a good question): If this is the situation under "ideal" circumstances, then what about the more realistic world where policy is selected under all kinds of political pressure from interest groups? Well, that should make it all the more likely that time inconsistency will rear its ugly head, especially in nations with weak institu-

tions and poor property rights. In practice, the way this problem manifests itself is by making policy focused on the short run. Indeed, once one has understood this principle, an amazing number of developments in nations' economic histories can be seen in a new light.

Here's a paragraph from a comment (published in *Public Choice* 1983) I made as an assigned discussant of a conference paper by James Alt on "The Evolution of Tax Structures":

"Since the government would like any change of policy to be considered a once-and-for-all change, it is natural that it would find an excuse (for example, an emergency such as a war) or another explanation in an attempt to make the new policy credible for the long run. In this sense, the above framework for thinking about changes in tax structures is complemented well by Alt's discussion on pp. 199-200. Policymakers might also argue that our understanding of the economic structure has changed and that a change of policy is necessary for that reason. It is hard to believe, however, that this could be done more than a couple of times and still achieve the intended "optimal" effects of the new policies. A likely eventual outcome is the time-consistent policy, which Kydland and Prescott (1977) showed could be quite suboptimal."

Doesn't this sound amazingly like what has happened in many parts of the world since the global financial crisis?!

Benefits of a Commitment Mechanism

An implication of this theory is that it is advantageous to shield policy making from political pressure – a kind of commitment mechanism to ensure that promised good policy will be carried out both currently and in the future. This principle has been understood and implemented by several nations in the arena of monetary policy, which is then carried out by central banks that are independent, to varying degrees, depending

on the nation. For example, the Bundesbank in Germany for decades was regarded as the champion of consistency and transparency. The Federal Reserve Bank in the United States hasn't been far behind (although recently we've seen signs of erosion of that independence). The Bank of England was formally made independent in 1997. The central banks in Scandinavia generally have been made quite independent.

At the other end of the spectrum are central banks such as that of Argentina. One sign of a central bank's independence and consistency is that the president or chairman remains in that position for a considerable number of years. In the United States, for example, Janet Yellen is only the seventh chairperson since 1951. In contrast, over the 70-year period 1945-2015, Argentina's central bank had 56 presidents – an average of only 1.25 years per president. In the especially tumultuous year of 2002, the central-bank president changed three times!

Argentina is an interesting case in that it tried a different commitment mechanism – a currency board. In 1990, the nation was recovering from the decade of the 1980s – the so-called Lost Decade – which ended in hyperinflation, defaults on government debt, losses of pensions, and during which the nation's output per capita had dropped by over 20%. Figure 3 shows real GDP per working-age person over much of the post-World-War-II period. (Note that, unlike Figures 1 and 2, this chart is on proportional (log) scale. In such a plot, constant growth rate will be represented by a straight line, for example that drawn, with the slope of the average growth rate over the entire period.) As newly elected president, Carlos Menem decided, in 1991, in order to raise the confidence among investors in his nation, to make the Argentine peso exchangeable one for one with the dollar, accumulating enough dollar reserves to make that policy seem credible. To the naked eye (as in Figure 3), growth rates over the next half-dozen years look like this policy worked. But then, starting around 1998, it all fell apart. Output per capita fell again by over 20%, this time over a much shorter period

of about four years, the peso had to be devalued, bank deposits were frozen, and all sorts of bad things transpired to the economy.

The explanation usually given for the failure of this “commitment mechanism” is that, while Argentina seemed to have fixed its monetary problems, they forgot about fiscal policy, that is, tax and spending policy. Monetary policy cannot be completely separated from fiscal policy. For one thing, both are part of the same budget constraint. The provinces borrowed heavily, even in the seeming good times of the 1990s. When it became clear they wouldn’t be able to pay back their debt, they came running to the federal government who had to bail them out. Federal debt ballooned and everything fell apart.

As an indication of how bad things can get when the “time-inconsistency disease” attacks, consider the behavior of Argentina’s stock of business capital per working-age person (a per-capita picture would look essentially the same), which in a healthy nation ought to grow steadily over the long run. Its level peaked in 1982. As of 2008, the last year for which comparable data are available, this ratio was still about ten percent below its 1982 level. It’s a good bet that, even more than three decades after 1982, it’s still lower.

An opposite example is Ireland over that same time period, from 1990 until the early 2000s. Starting in the 1960s and 1970s, Ireland had made secondary education free of charge. As a consequence, by 1990 the nation found itself with a potentially skillful work force, but not enough factories and equipment with which to put all of these skills to use. So, the government decided to do their best to remove any uncertainty about future taxation. They announced that if you, Irish or foreigner, set up shop here, these will be your (not very high) tax rates in 1992, 1993, and so on, all the way to 2009. Of course, there may have been other favorable factors as well. The bottom line is that Ireland grew spectacularly (Celtic Tiger), going, in the course of one decade, from being one of the lower

per-capita-income countries in Western Europe to one of the very highest (see Figure 5), surpassing Germany, the U.K., and France, for example.

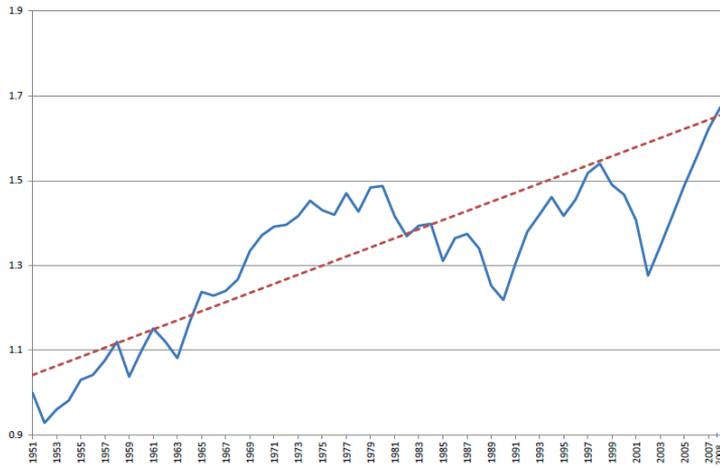


Figure 3: Argentine log real GDP per working-age person.

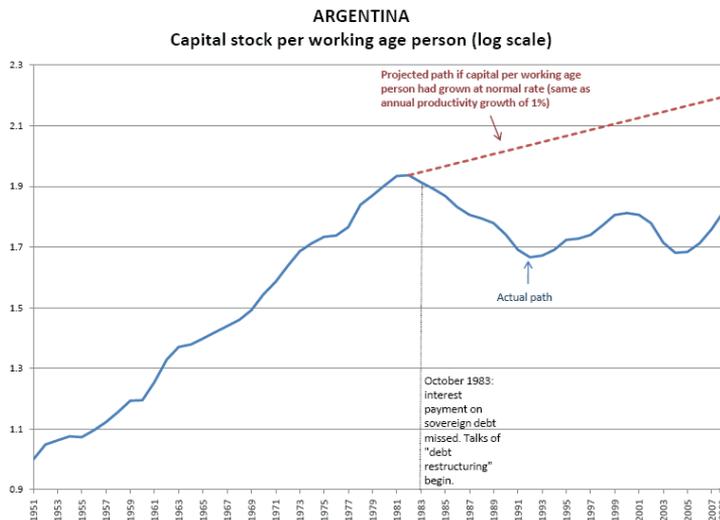


Figure 4: Argentine log capital stock per working-age person.

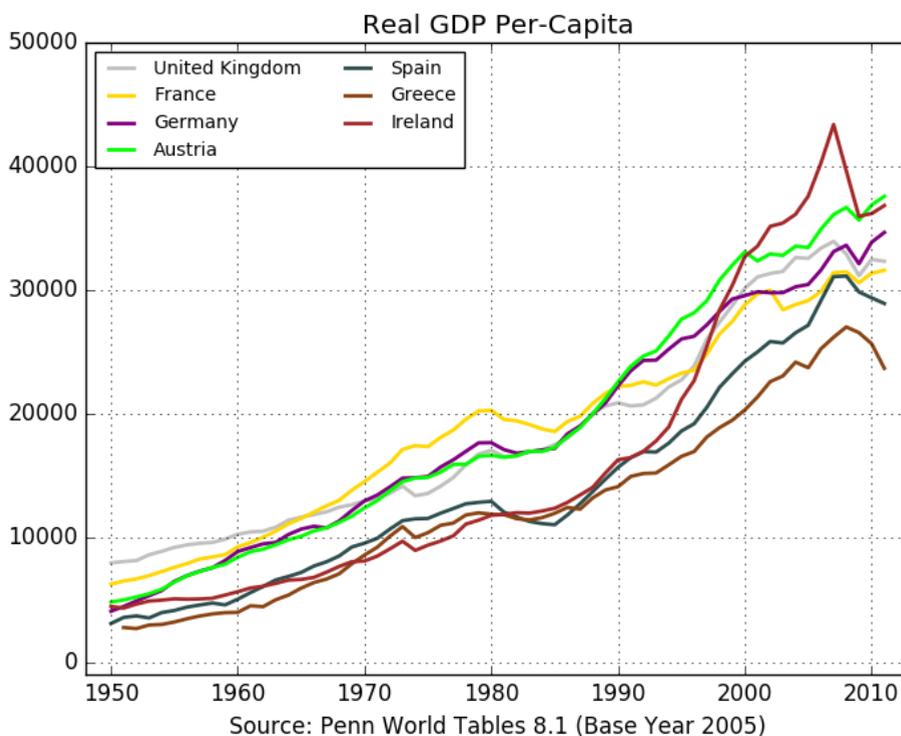


Figure 5: Per-capita Real GDP for European nations.

But alas, this story does not have a completely happy ending, on account of policy makers panicking at the onset of the financial crisis in 2008. In the 2000s a debt-driven property boom had taken hold. When property values plunged in 2008, in part affected by what happened in the rest of the world, major Irish banks faced insolvency. The government made the highly questionable decision to bail them out, in the process saddling tax payers with a huge increase in government debt. This ending, however, does not take away from the lesson from the experience in the 1990s, when removal of uncertainty about the tax environment for the foreseeable future encouraged companies, foreign and domestic, to establish and expand productive capacity in Ireland.

Note the important role of fiscal policy in the adverse outcome in Argentina and in the good thing that happened in Ireland. It's hard, however, to see how the solution to the time-inconsistency problem for monetary policy – independence from political pressure – could be implemented in the fiscal arena. So how to commit to good fiscal policy? (I sometimes suggest that if some hot-shot young economist comes up with a solution to that problem, then 30 years later he may get to stand before the King of Sweden and accept an important prize!) At this point, at least, the case of Ireland seems too much like an aberration. How many nations would be likely to commit credibly to something analogous?

Rebuild Credibility?

An interesting question is: If a nation, such as Argentina, falls prey to the “time-inconsistency disease,” how easy would it be to rebuild its credibility? The answer has to be, not easy at all. As already mentioned, Argentina, after the Lost Decade of the 1980s, seemed to grow at acceptable rates. It is possible, however, to “check the temperature” of a nation using a standard growth model as the “thermometer.” As reported in Kydland and Zarazaga (2007), with the aid of the best available measurements, this “thermometer” showed that Argentina was “ill,” that in light of its technology level it should have grown much faster even over the 1990-98 period. Especially the capital stock grew much more slowly than the model said ought to have been the case. This finding indicates that, in spite of President Menem's best intentions, the nation still suffered from severe lack of credibility among potential investors.

But the Mere Consistency of Policy is Not Sufficient

It is important to emphasize that policy consistency is not *sufficient* for healthy growth. Notice the word *optimal* in the description of the basic time inconsistency problem. It won't be good if a country carries out a policy that's consistent, but *bad*. I will argue that China is such an ex-

ample. Its economic policy certainly appears quite consistent. Admittedly, China has made important strides in its development, although, as seen in Figure 1, its per-capita income is still low by international standards.

A stylized description of how nations grow in the long run is as follows. Entrepreneurial and innovative activity takes place, resulting in new and better ways of producing things, new production processes, new products, generally with the help of both private and public research and development. Factories, machines, and office buildings are needed to implement these innovative ideas. Workers are hired. Incomes grow. And so on. In order to facilitate all of this activity, however, a healthy banking system, or financial system, more generally, is important, as these costly decisions cannot be undertaken without the required funding.

As described in Song, Storesletten, and Zilibotti (2011), in China banks are generally state-owned. These banks favor the state-owned companies. The state-owned enterprises (or, more generally, the large well-known companies) have easy access to credit and, at least until recently, to cheap labor. In the meantime, the less-established entrepreneurs with the really innovative ideas for products or ways of doing things have a hard time getting the necessary loans. They often have to save up in advance before they can implement their ideas. Naturally, activities that are relatively intensive in labor rather than capital are easier to finance. The overall result is a huge waste of resources. In other words, with the same use of resources, China could have grown substantially faster than their already high growth rates. It's a good bet that unless China opens up for more competition in the financial sector, this problem will eventually impede their long-run ability to grow at acceptable rates.

Some Comments on Recent Events

These ideas provide food for thought about what has been going on more recently in many areas of the world, including in the United States

and Western Europe. Starting with the United States, Figure 6 plots real GDP per capita post WWII. The straight line represents average growth 1947-2007 and is extended to the present. There are of course ups and downs about that straight line – what we call business cycles – but it does an amazing job in accounting for the long-run growth over these 60 years. The startling part, as further emphasized in Figure 7, which magnifies the most recent time frame of Figure 6, is how far below the trend line the economy fell in 2008 and after – by on the order of 12 percent. And worse, unlike prior recoveries, which were typically quite rapid once the bottom was hit, so far there’s not been any sign of moving back towards the old trend. On the contrary, the two curves are still diverging more than a half-dozen years on.

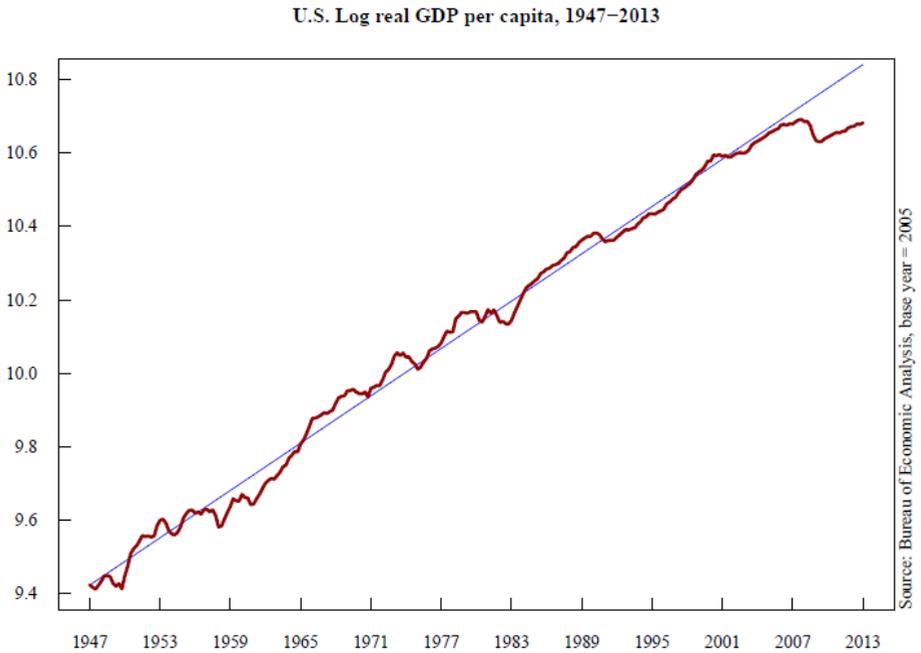


Figure 6: U.S. log real GDP per capita.

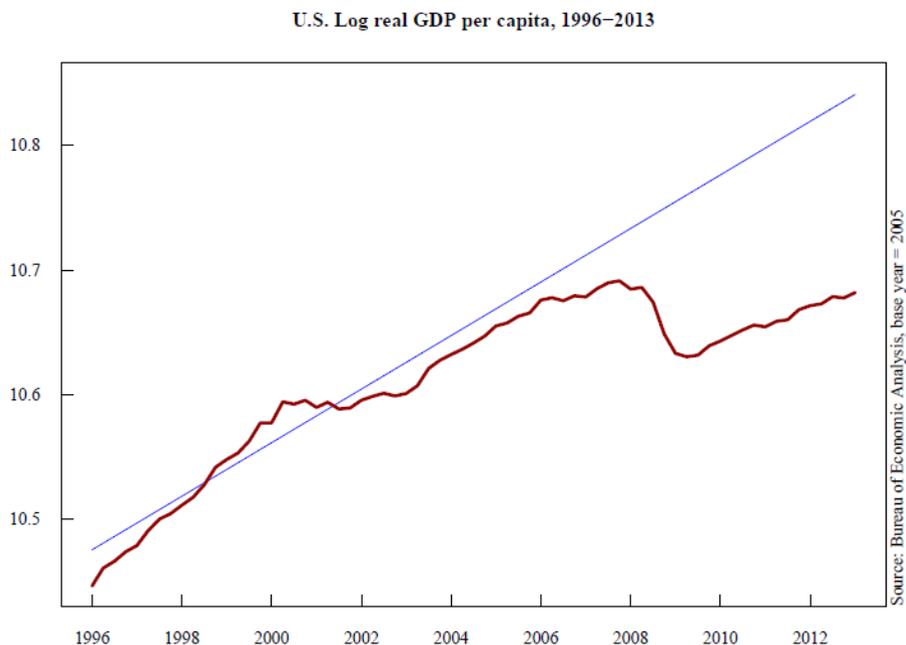


Figure 7: U.S. log real GDP per capita, 1996-2013.

Of course, there are several factors contributing to the severity of this recession. One thing is remarkable: Unlike past recessions, the severe decline happened without an initial slowing of productivity. Another aspect has got some attention: The decline in consumption was relatively small by recession standards. The recession is largely investment driven.

As Zarazaga and I (2016) show, a large portion of the recession can be accounted for as follows. Around 2008, the growth in the debt/GDP ratio, partly because of stimulus packages, partly for other reasons, started to gain attention in the press and elsewhere. Indeed, even before the financial crisis, the U.S. debt had been projected to rise substantially, largely as a consequence of the “baby boomers” retiring in ever larg-

er numbers. The Bush tax-reduction law of 2001 already called for taxes to go back up starting Jan. 1, 2011. (As it turned out, this increase was postponed until 2013.) Suppose capital owners in 2009 were struck by the sentiment that taxes would rise in the future in order to keep the debt from growing further (say, as estimated by the bipartisan Congressional Budget Office). Suppose, to be specific in our model experiment, they thought the required tax increase would last for ten years, starting in 2013. The time-inconsistency insight indeed suggests that capital income would be the main target. Our experiment, using a standard neo-classical growth model calibrated to the U.S. economy through 2007, with the magnitude of the tax increase calibrated according to the Congressional Budget Office's estimate, accounts for most of the decline in investment, about half of the decline in labor input, and it is the only explanation we're aware of that is consistent with consumption falling relatively little in such a severe recession. Moreover, the experiment indicates it could take a long time to move back to the vicinity of the old trend (whose slope, we show, ought even to be reduced somewhat because of demographic factors affecting the population and the composition of the work force). In summary, the culprit, in large part, seems to be a sentiment that developed soon after the financial crisis that capital-income taxes would have to rise in a few years' time, which, by the way, is in line with the insight from the time-inconsistency principle. Interestingly, when we modified our experiment to make all of the tax increase fall on labor income instead of capital income, then it didn't account at all for what has happened over these years.

In Europe, the euro zone, with its fixed exchange rate among a large number of countries, was conceived with seemingly little attention to enforceable fiscal rules to accompany the new monetary arrangement. As we know, some nations borrowed heavily and have had to be bailed out. Even *within* a nation such as Spain, much unchecked accumulation of debt by the provinces appear to have taken place. One is reminded of Argentina in the 1990s.

Since the failure of Greece, one often heard mentioned as potential additional problem nations Italy, Spain, Portugal, and Ireland. Let's get a sense of their backgrounds in terms of the main driving forces for sustainable growth: innovative activity and technological progress, as reflected in total factor productivity (TFP) and in labor productivity (output divided by hours worked). Figures 8 and 9 graph the logs of those two data series for each of the four nations. The average growth from 1960 to 1990 is indicated as a straight line and extended to the present. The shocking thing is that, for Spain, Portugal, and Italy, growth in both TFP and labor productivity basically came to a full stop in the early 1990s!

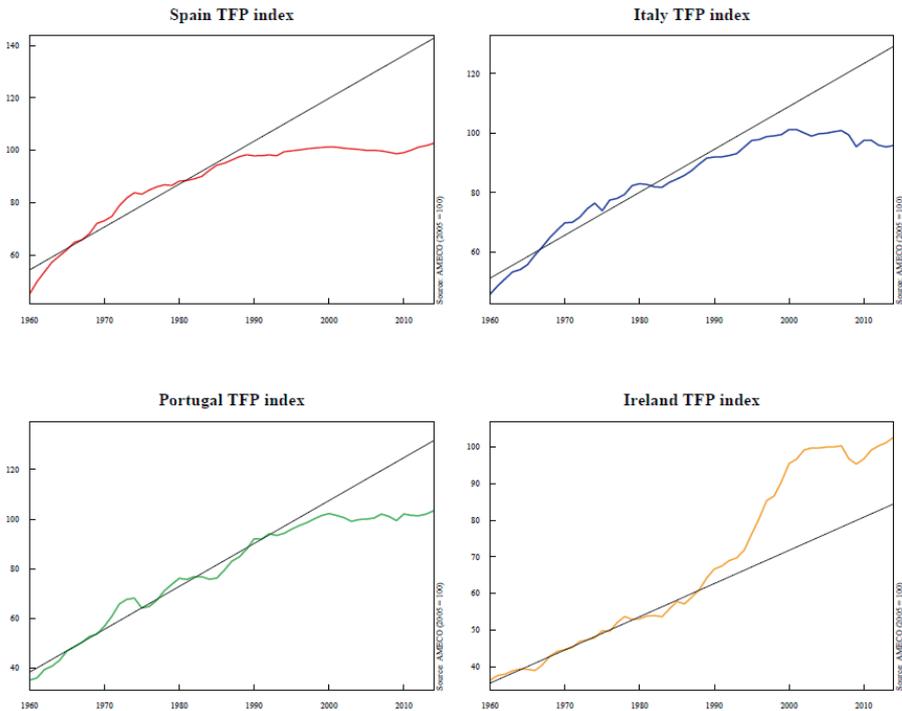


Figure 8: Total Factor Productivity.

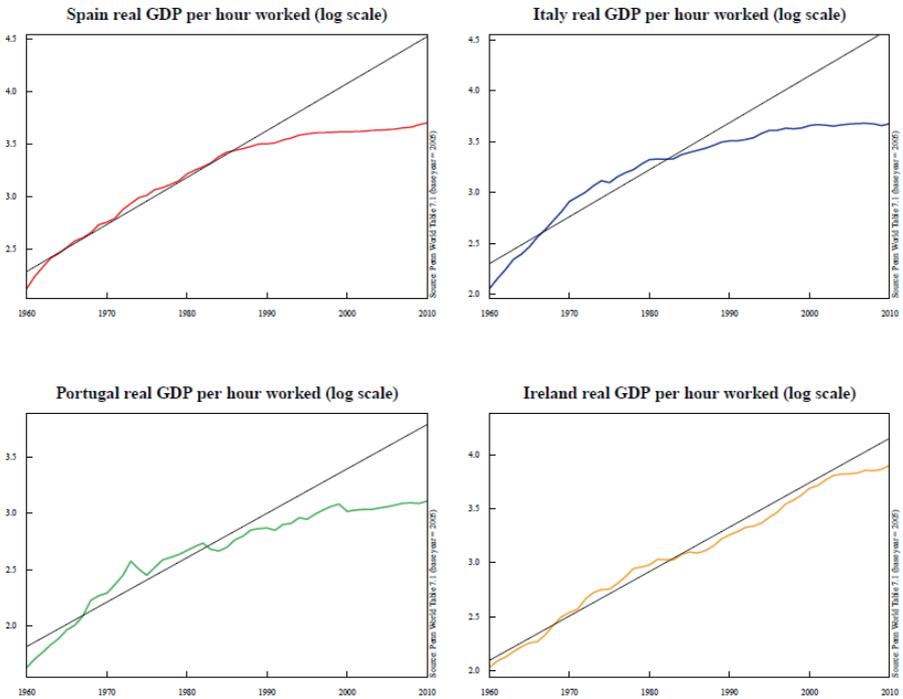


Figure 9: Labour Productivity.

One might have suspected that the slowdown in these nations was partly a consequence of them having been tempted to take advantage of the low interest rates after joining the euro area and “live the good life.” While there could be something to that, these charts show that these nations’ problems are much more deep-seated and appear to date back to well before euro memberships. It’s tempting to conclude that the attention, even blame, on the euro one has heard from many sources is only a “red herring” which, if anything, has distracted from dealing with more fundamental underlying structural problems. Until these three nations figure out how to make their respective curves in Figures 8 and 9 turn back to significant positive slopes, sustainable growth will be lacking.

Now, in cooperation with Enrique Martínez-García of the Federal Reserve Bank of Dallas, I decided to entertain the idea that euro wasn't entirely a red herring. Although memberships in the euro zone actually started in the late 1990s, their announcements were made several years before, resulting in a significant decline in the country-risk components in these nations' interest rates. It turns out that this feature, and its subsequent repercussions, in large part can account for the productivity slowdown. In Spain, for example, one dramatic way in which it manifested itself was as follows: Suppose we divide economic activity into two sectors – tradable and nontradable. In the late 1980s, the relatively much more productive tradable-goods sector accounted for one-half of the nation's output. Twenty years later, this fraction had sunk to one-third.

For comparison in Figures 8 and 9, I include the plots also for Ireland, a nation that after 2008 was sometimes mentioned in the same breath with these other three countries, in part because of the already mentioned build-up of its debt/GDP ratio. TFP displays an impressive pick-up in the 1990s, but then flattens out. Eventually, so does labor productivity. With its large debt, Ireland surely has its problems, but at least from a productivity standpoint, the situation looks much less dire than for the other three nations, as the flattening started only relatively recently and from a substantially higher level. These labor-productivity numbers for Ireland currently are on the order of 40-50 percent higher than those for the other three countries. This fact suggests that, if Ireland makes sure not to harm investors' confidence and credibility as a reliable nation in terms of its future policy environment, Ireland should be in good shape over the long run.

The Road Forward

It is probably fair to say that an unprecedented amount of uncertainty prevails about future economic policy in European Union countries as well as in the United States. In Europe, we have seen politicians reacting to

short-run developments without any clear plan for next year and beyond. As has been argued in this chapter, this kind of uncertainty is bad for growth. One cannot fault potential innovators and investors in business capital if they choose to wait on the sidelines for a while. Worse, the insights from the time inconsistency literature give reasons to be pessimistic as to whether this uncertainty will be removed soon in any meaningful way.

As already suggested, fiscal policy is the key. But unlike with monetary policy, it is difficult to see how, with few exceptions, nations can commit to good long-run fiscal policy. Since the global financial crisis, it's too easy to claim that we're in a near-emergency situation and therefore to argue for a change of policy, which, if motivated primarily by short-run considerations, represents a turn for the worse. Or one may suggest that past modeling approaches have been at fault, that new approaches are needed, and that these models call for a change of policy.

A problem with time inconsistency, even for countries with strong institutions, is that although we understand the nature of the temptation, we don't know if, or when, the country might actually fall for that temptation. Hence, growth-promoting private-sector decisions that require looking far into the future are likely to be affected, to be postponed perhaps, or even completely discarded. The most shocking thing would be if even Ireland, with its relatively high productivity, not to mention well-deserved built-up credibility, were to fall for the temptation!

References

- Kydland, Finn E., "Implications of Dynamic Optimal Taxation for the Evolution of Tax Structures," *Public Choice* 41, 1983, pp. 229-235.
- Kydland, Finn E., and Edward C. Prescott, "Rules Rather than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans," *Journal of Political Economy* 85, June 1977, pp. 473-491.

Kydland, Finn E., and Carlos E.J.M. Zarazaga, “Argentina’s Lost Decade and the Subsequent Recovery Puzzle,” in T.J. Kehoe and E.C. Prescott (ed.), *Great Depressions of the Twentieth Century*, Federal Reserve Bank of Minneapolis, 2007, pp. 191-216.

Kydland, Finn E., and Carlos E.J.M. Zarazaga, “Fiscal Sentiment and the Weak Recovery from the Great Recession: A Quantitative Exploration,” *Journal of Monetary Economics* 79, 2016, pp. 109-125.

Parente, Stephen L., and Edward C. Prescott, *Barriers to Riches*, The MIT Press, 2000.

Song, Zheng, Kjetil Storesletten, and Fabrizio Zilibotti, “Growing Like China,” *American Economic Review* 101, February 2011, pp. 196-233.

**HACIA UN NUEVO HUMANISMO EMPRESARIAL:
ORGANIZACIÓN Y PERSONAS**

DR. ARTURO RODRÍGUEZ CASTELLANOS
Académico de Número de la Real Academia de Ciencias Económicas
y Financieras
arturo.rodriguez@ehu.eus

Abstract

El entorno empresarial es cada vez más complejo, debido por una parte a la globalización, cuya “tercera ola” se caracteriza por la multipolarización del avance tecnológico, y por otra a la multiplicación exponencial de avances científicos y técnicos, lo que se ha denominado “cuarta revolución industrial. Pero la complejidad lleva aparejada incertidumbre, así como volatilidad.

En este capítulo se analizan, en primer lugar, los potenciales impactos de esta nueva situación tanto sobre las empresas como sobre las personas en la organización empresarial; seguidamente, se considera la respuesta que las empresas pueden dar a los nuevos desafíos, en forma de, por una parte, especificar los propósitos que deben guiar su actuación, y por otra considerar las capacidades dinámicas interrelacionadas que permitan conseguir tales propósitos. Por otra parte, se plantea la relevancia de las personas en el nuevo entorno organizativo de progresiva presencia de sistemas artificiales inteligentes, concluyendo que dicha relevancia no disminuirá, sino que se incrementará, configurando lo que hemos denominado “nuevo humanismo empresarial”. A continuación se consideran las cualidades más relevantes -valores y capacidades- que deberán reunir las personas para aportar valor a sus organizaciones, apuntando también las características que debe reunir un nuevo estilo de liderazgo adaptado a las nuevas condiciones.

Palabras Clave: Complejidad, incertidumbre, globalización, desarrollo tecnológico, humanismo empresarial.

Introducción: Globalización, disrupción tecnológica, complejidad e incertidumbre

En los últimos tiempos, como indica el Profesor Gil Aluja [1], una espesa niebla cubre progresivamente el mundo; y sus efectos responden a dos nombres: “complejidad” e “incertidumbre”. Ahora bien, estos dos fenómenos se encuentran íntimamente vinculados: el mundo es cada

vez más complejo [2], pero al aumentar la complejidad, aumenta la posibilidad de que se desarrollen procesos no lineales, “caóticos”, fenómenos tipo “alas de mariposa” –pequeñas causas, enormes efectos– y acontecimientos no previstos, pero de enormes repercusiones –los “Cisnes Negros”– [3] [4]. La incertidumbre, por tanto, es la compañera inevitable de la complejidad. Y, aunque esto tiene un alcance general, tal vez se manifieste más claramente en la economía y las finanzas [5] [6] y en las propias empresas [7].

¿Cuáles son las fuentes de esa progresiva complejidad? Nos atrevemos a aventurar dos principales: por una parte, la globalización, y por otra el desarrollo de tecnologías con potencialidad disruptiva.

Así, la globalización, al incrementar enormemente los flujos de dinero, capitales, mercancías y personas entre partes del mundo que con anterioridad se encontraban escasamente conectadas, ha incrementado la complejidad: el mundo globalizado es un mundo más complejo, y, por tanto, más incierto e imprevisible [8]. Por otra parte, nos encontramos ya en la “tercera ola de la globalización”, generándose una realidad aún más compleja que en las anteriores etapas, multipolar, multicultural, inestable y más imprevisible [9].

En cuanto al desarrollo tecnológico, en las dos últimas décadas el mundo ha experimentado numerosos cambios, cada vez más veloces, transformativos en naturaleza pero cuyo impacto ha modificado –y modificará todavía más en el futuro– las reglas de juego en muy diversos ámbitos. La mayoría de esos cambios han sido posibles gracias a avances significativos en los campos de la ciencia, la ingeniería, la medicina y la tecnología. Subdisciplinas tales como la ciencia de materiales, la nanotecnología, las biociencias, las granjas de órganos, la carne cultivada en laboratorio, la secuenciación de genes, la computación basada en gestos, el aprendizaje de las máquinas, y otros, están llamados a generar profundas mutaciones en la economía, la sociedad y en los propios seres huma-

nos [10] [11] [12]. Su aplicación en las empresas está dando lugar a la denominada “cuarta revolución industrial” [13] o “Industria 4.0” [14].

Como impulsores de estos desarrollos pueden establecerse tres grupos de “grandes tendencias” relacionadas [13] [15]:

1. Físicas: Vehículos autónomos, “Fabricación aditiva” (Impresión 3D), Robótica avanzada (robots conectados a la red, vehículos autónomos, drones, biomimética, colaboración persona-máquina, nanorrobots), Nuevos materiales (materiales inteligentes o con memoria de forma, nanomateriales, polímeros termoestables reciclables), Baterías de nueva generación (con alta capacidad de almacenamiento de electricidad).
2. Digitales: “Internet de las cosas” (monitoreo remoto, dispositivos implantables, “hogares inteligentes”, “fábricas inteligentes”), Inteligencia Artificial, “Cadena de bloques” –*blockchain*– (criptomonedas y otras aplicaciones), Análisis de *Big Data*, Ciberseguridad, “Tecnologías Financieras” –*fintech*– (nuevas aplicaciones, procesos, productos y modelos de negocios en los servicios financieros), “Economía bajo demanda” –“consumo colaborativo”– (Uber como ejemplo paradigmático), *Cloud Computing* y Análisis predictivo, Superordenadores, *Crowdsourcing*.
3. Biológicas: Secuenciación genética, Activación o modificación de genes, Biología sintética (edición genética), aplicación de análisis de *big data* para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, “Bioimpresión” (combinación de la impresión 3D con la edición genética para producir tejidos vivos), Monitoreo de parámetros biológicos, Neurotecnologías.

Ahora bien, debemos tener en cuenta que todos estos desarrollos están convergiendo en el tiempo, apalancándose además unos a otros,

aumentando de manera nunca vista la velocidad y la magnitud de los cambios [13]. Por otra parte, en la actualidad la innovación disruptiva puede generarse en cualquier lugar del mundo [9], lo cual implica que en cualquier lugar, y en cualquier momento, de manera imprevisible, pueden aparecer nuevas tecnologías, o nuevas combinaciones de tecnologías, con efectos disruptivos. Ello aumenta la complejidad tecnológica; pero además no solo la aparición de nuevos desarrollos, sino también el impacto de los ya conocidos, son difíciles de prever, con lo que la incertidumbre se ha incrementado.

Esta nueva situación no parece tener ningún precedente histórico. Por tanto, en las actuales circunstancias afrontar el futuro incierto es no solo difícil, sino que en ocasiones se debe incluso superar el temor. La dificultad se debe principalmente al cambio en las condiciones de contorno, mientras que el temor tiene su origen en las opiniones encontradas sobre el futuro del que se quiere formar parte [11].

Un entorno como el actual, y el futuro posible, caracterizado por alto dinamismo, complejidad e incertidumbre, no puede ser caracterizado de otra forma sino como un “entorno turbulento”. Otros autores emplean el acrónimo “VUCA”, por sus siglas en inglés, refiriéndose a un mundo con “volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad” [16]; también se emplean expresiones como “dinamismo del entorno” o “complejidad dinámica”.

Si nunca el futuro ha sido una proyección lineal del pasado –tampoco el pasado ha sido lineal, a pesar de ciertas “reconstrucciones” del mismo–, mucho menos en las actuales condiciones. Como indica el profesor Gil Aluja en el primer capítulo de esta obra, las previsiones son cada vez más difíciles. Los cambios hoy rápidos y profundos, pero lo serán más en los tiempos venideros.

Ahora bien, el creciente dinamismo, la complejidad y la incertidumbre no afectan solo al entorno externo, sino también al interior de

las propias organizaciones. Se producen déficits en la información necesaria para identificar y entender las relaciones de causa y efecto, e incluso las relaciones de incidencia [17]. Con un entorno altamente dinámico, la incertidumbre puede inhibir la habilidad de la organización para responder a la necesidad de cambio, predecir la demanda, cuestionar la línea estratégica existente, y explorar nuevas alternativas. Pero un entorno de este tipo, con cambios no lineales y discontinuos, puede ser también una gran fuente de oportunidad y de valor para las empresas que sean capaces de fortalecer capacidades ya existentes y/o desarrollar otras nuevas. Pueden producirse (o construirse) en la realidad situaciones de “antifragilidad” [4], similares a la posesión de una “opción financiera” de tipo *call*, en las que la mayor incertidumbre aumenta el valor, pues permite aprovechar nuevas oportunidades. Para ello, como se verá más adelante, la flexibilidad, tanto organizacional como individual, será decisiva. En el caso de las empresas, lo anterior puede permitir superar la inercia organizacional y la “miopía de aprendizaje” especialmente peligrosas en las condiciones actuales [18].

Ahora bien, como asevera el profesor Gil-Aluja [19], la complejidad e incertidumbre progresivas en los sistemas económicos y en las empresas hacen resaltar todavía más el papel de las personas, con sus capacidades, sus conocimientos y sus valores, base para actuar con éxito en entornos inciertos mediante la innovación [20].

A continuación pasaremos a analizar los posibles impactos de esta nueva situación, tanto sobre las empresas, como sobre las personas en la organización empresarial. Posteriormente consideraremos cómo las empresas pueden responder a esos desafíos, especificando claramente sus propósitos y generando, o desarrollando, capacidades interrelacionadas para conseguirlos. Seguidamente consideraremos el papel de las personas en el nuevo contexto, especificando las cualidades más relevantes –valores y capacidades– que, en nuestra opinión, deberán reunir las personas para aportar valor a sus organizaciones el nuevo entorno.

Ahora bien, para gestionar personas con estas cualidades se requiere un nuevo tipo de liderazgo, cuyos aspectos más determinantes son perfilados. Las conclusiones obtenidas y la bibliografía cierran el capítulo.

Impacto sobre empresas y personas

La escala y la amplitud de este enorme incremento en la complejidad, como hemos indicado en el apartado anterior, producirán cambios económicos, sociales y culturales de enormes proporciones, pero, como también se ha indicado, de muy difícil previsión [13]. Son, pues muchos y muy diversos los ámbitos de potencial impacto, pero en este trabajo nos vamos a limitar a analizar el que puede percibirse sobre las empresas, y, asimismo, sobre las personas en la empresa.

Sobre las empresas

Las tecnologías emergentes, potenciadas por las capacidades digitales, están aumentando ya, y aumentarán más en el futuro, la velocidad y la magnitud del cambio en las empresas. Pero la velocidad de la disrupción y la aceleración de la innovación son difíciles de comprender y de prever [13].

Los tiempos han cambiado dramáticamente, provocando incertidumbre añadida, pues las fronteras tradicionales entre sectores empresariales han sido traspasadas y muchas teorías de gestión deben ser descartadas. Los modelos de gestión definidos tradicionalmente dentro del contexto de la tríada “empleador-empleado-cliente” ya no son útiles ni sostenibles. Ahora bien, muchos de los modelos alternativos propuestos han ido añadiendo simplemente nuevas capas a los modelos existentes, generando promesas incumplidas y la consiguiente frustración [11].

Así, por ejemplo, es de esperar que la aplicación de tecnologías disruptivas ocasione un claro incremento de la productividad empresa-

rial. No obstante, al parecer este proceso todavía no se ha iniciado. Por otra parte, muy posiblemente la cuarta revolución industrial requerirá de nuevas estructuras organizativas, y nuevas culturas organizativas, para captar todo su valor –por ejemplo, modelos de “asociación colaborativa”–, como veremos más adelante al abordar las posibles respuestas empresariales a este desafío [13].

Ahora bien, aunque todos los sectores empresariales están siendo empujados por esta oleada de transformación, no todos se encuentran en el mismo punto de disrupción. En un reciente estudio de BMI [15] se analiza, mediante entrevistas a altos directivos, el impacto sobre diez sectores empresariales diferentes (agroindustria, automoción, bienes de consumo, infraestructuras, servicios médicos, minería, gas y petróleo, farmacéutico, energías renovables y telecomunicaciones) de ocho grandes tendencias tecnológicas: *fintech*, *blockchain*, inteligencia artificial, drones, ciberseguridad, impresión 3D, automatización y baterías de nueva generación. Los principales resultados obtenidos son los siguientes:

1. Para cualquier sector, el impacto será alto respecto de al menos dos desarrollos tecnológicos.
2. A pesar de que actualmente el enfoque predominante es sobre cómo la tecnología está conformando el sector de bienes de consumo, el mayor impacto se producirá en las industrias pesadas, incluyendo infraestructuras, automoción e industrias extractivas.
3. La inteligencia artificial y la ciberseguridad serán las tecnologías con el impacto más significativo y generalizado.

Ahora bien, debe tenerse en cuenta, por una parte, que el impacto más profundo se producirá muy posiblemente por la combinación de múltiples tecnologías de forma novedosa [9] [13], y por otra que, como ya se ha indicado, en cualquier lugar del mundo, de manera imprevisi-

ble, pueden aparecer nuevas tecnologías, lo cual añade una alta dosis de incertidumbre e imprevisibilidad a cualquier análisis de impacto.

La innovación va a ocupar un papel absolutamente imprescindible para la supervivencia empresarial, pero será más compleja, basada en la combinación de múltiples tecnologías de forma novedosa [9] [13], participando grupos de personas cada vez más amplios, y con la colaboración de la clientela.

De manera general, en el ámbito empresarial se perciben cinco impactos importantes [9] [13]:

- Cambio en las relaciones con la clientela, pues esta, más informada y activa, participará cada vez más en la evaluación e incluso el diseño de nuevos productos y servicios.
- Mejora de los productos por los datos, lo cual debe repercutir en una mejora de la productividad, aunque, como ya se ha indicado, ese proceso todavía no se está manifestando, y para que exhiba todo su potencial se requerirán nuevas estructuras y culturas organizativas.
- Nuevas alianzas. La innovación colaborativa no solo se realizará con la clientela, también con proveedores y con otras empresas, incluso competidoras (“cooperación”), en “innovación abierta” [21] [22].
- Redefinición de los modelos de negocio. Se está produciendo una superación de las barreras tradicionales entre sectores. Las empresas, también las grandes, están redefiniendo sus modelos de negocio, abandonando unos sectores e introduciéndose en otros.
- Nuevos modelos organizativos. La nueva situación supone todo un reto a la planificación estratégica de las empresas, por la nece-

sidad de operar más rápido y con mayor agilidad [23]. El concepto de ventaja competitiva tiene que ser redefinido en términos de flexibilidad y velocidad de organización. La gestión de cambio deberá formar parte del día a día de la empresa. La realidad actual, y la previsible en perspectiva, obliga a pasar de predecir a configurar; y para ello las empresas necesitan visión, comprensión, claridad y agilidad [9]. La tendencia es hacia modelos de plataforma digital íntimamente conectada con el mundo físico, enfocados hacia el cliente, por tanto con fuerte interacción entre los campos digital, físico y humano, con una nueva cultura de colaboración centrada en las personas. En estas condiciones, la ciberseguridad será una preocupación esencial. El servicio está alcanzando una importancia progresiva. Los procesos necesitarán ser actualizados frecuentemente, mientras que la fuerza de trabajo requerirá nuevas aptitudes; por ello, el talento de las personas será el más importante impulsor emergente de competitividad, y por tanto la forma dominante de ventaja estratégica. Jerarquías flexibles, nuevas formas de medir y recompensar el rendimiento, y nuevas estrategias para atraer, retener y desarrollar el talento serán claves del éxito organizativo. La capacidad de responder con agilidad a los cambios será crucial también en la motivación de los empleados y la comunicación.

- Tecnología globalizada, cadenas de valor locales. Con la democratización de la tecnología se ha conseguido que lo que antes no era global –esto es, la propia tecnología–, lo sea ahora. Y, por el contrario, con la aplicación de los nuevos desarrollos tecnológicos, lo que era global, esto es, las cadenas de valor y producciones, tienden a hacerse locales, adaptadas a los clientes y consumidores [9] [24]. Las empresas deberán estar en condiciones de adaptar la propuesta de valor a cada persona consumidora, teniendo en cuenta sus gustos personales, que son diferentes individualmente, pero también según países y culturas; además, en muchos

casos para sobrevivir deberán ser capaces de aportar valor por encima de lo que pueda elaborar la propia clientela.

Sobre las personas en la empresa

Tras analizar las repercusiones de la nueva situación sobre las empresas, a continuación vamos a considerar el impacto que puede percibirse sobre las personas en las empresas. Ahora bien, de forma previa debemos fijarnos en el impacto sobre las personas en sí mismas.

En efecto, la cuarta revolución industrial posiblemente sea la primera “revolución industrial” que no solo cambie cómo las personas hacen las cosas, sino que cambie a las propias personas [13]. El impacto será múltiple, afectando incluso a nuestra identidad como seres humanos, y a sus múltiples facetas relacionadas: conexión persona-máquina, mejoras genéticas, nanotecnología médica, etc. Y puede llegar, quizá antes de lo que se piensa, a formas de “mejora” del ser humano que tal vez incluso cuestionen la naturaleza misma de lo que se entiende por “humanidad”. Así, los nuevos desarrollos tecnológicos están empujando los niveles de longevidad, salud, cognición y otras capacidades de un modo hasta hace muy poco impensable en términos reales [13]. Se habla de “posthumanos”, del “homo deus” [25], de “transhumanismo” como búsqueda consciente de la posthumanidad [26] [27]; pero si el desarrollo tecnológico no sirve para mejorar a todas las personas y empoderarlas, esto es, a hacernos avanzar como personas, o, en otras palabras, a volvernos “más humanos”, sino que contribuye a ahondar todavía más las diferencias económicas y sociales, será fallido. Indudablemente, las nuevas tecnologías disruptivas en los campos físico, biológico y digital abren enormes posibilidades de mejora para el propio ser humano. Pero los posibles futuros posthumanos alternativos son muy numerosos; muchos de ellos han sido explorados por las obras de ciencia ficción, y no siempre son deseables. El profesor Gil Aluja, en el primer capítulo de esta obra, muestra su preocupación por los peligros

que puede acarrear un mal uso de las tecnologías para la “mejora” de los seres humanos: robotización, control central, paraesclavitud, etc. Únicamente es admisible el empleo de la razón, la ciencia y la tecnología, en primer y fundamental lugar, para reducir, y, en su caso, eliminar, la pobreza, las enfermedades, las discapacidades y la malnutrición en todo el mundo. Las nuevas tecnologías son, ante todo, herramientas hechas por las personas, que deben beneficiar a todas las personas [13]. El futuro posthumano no está escrito: es nuestra responsabilidad colectiva construirlo de forma que sirva para mejorarnos y mejorar el mundo.

A medida que progrese la aplicación de sistemas artificiales inteligentes, muchas personas verán alterados sus empleos; deberán trabajar cada vez más estrechamente con robots, automatización inteligente e inteligencia artificial. Las personas en combinación con máquinas generarán más valor que las personas solas, o que las máquinas solas [28] [29]. Además, la fusión de tecnologías digitales, físicas y biológicas servirá para mejorar no solo el trabajo humano, sino también a la propia persona humana en el trabajo, incrementando su base cognitiva y otras mejoras, en gran parte impredecibles. Los líderes empresariales deben preparar a las personas de la empresa para trabajar interactuando con máquinas cada vez más capaces, más conectadas y más inteligentes [13], pero además deberán ser conscientes de que en el futuro tal vez tengan que tratar con seres humanos “mejorados” (posthumanos).

Si el futuro deseable llega a generar personas conectadas, más sanas, incluso “mejoradas”, necesariamente estarán más empoderadas. Precisamente, en opinión de Schwab [13], uno de los posibles mayores impactos esperables, y deseables, resultará del empoderamiento de las personas en diversos ámbitos, pero también en las empresas: un aspecto fundamental resultará en cómo éstas se relacionarán con sus accionistas, personas empleadas, clientela y proveedores, esto es, con sus “grupos de interés” –*stakeholders*–. Éstos, al estar mucho más empoderados, deben ser también conscientes de que forman parte de un sistema

de poder distribuido, que requerirá para su sostenibilidad formas más colaborativas de interacción.

Un impacto temido es sobre el empleo. La velocidad en que están sucediendo los cambios tecnológicos y sus aplicaciones (por ejemplo, la sustitución de personas por máquinas inteligentes avanzadas tecnológicamente), y la amplitud, profundidad y simultaneidad de tales cambios, hacen razonable suponer que las empresas del futuro, en especial las de tipo industrial, darán ocupación a muchas menos personas.

Una cosa es cierta: las nuevas tecnologías cambiarán profundamente la naturaleza del trabajo en todas las industrias y ocupaciones. Muchas empresas reducirán la cantidad de personas empleadas en ellas, pero también las nuevas tecnologías darán empleo a muchas otras personas [13]. Ahora bien, el consenso hasta el presente es que la balanza se inclinará, al menos en el corto plazo, hacia la pérdida neta de empleo [30], aunque su cuantificación concreta es discutible. Un estudio de Frey y Osborne [31] indica que el empleo aumentará en puestos de trabajo cognitivos y creativos, así como en ocupaciones manuales de bajos ingresos, pero disminuirá con fuerza en los empleos rutinarios y repetitivos. Pero un trabajo posterior [32] concluye que en la “tercera ola” de la automatización, la del predominio de sistemas autónomos, la mayor pérdida de trabajo se producirá también en las ocupaciones manuales. En principio, los trabajos más difícilmente sustituibles por máquinas y sistemas artificiales inteligentes serán los que requieran altos niveles educativos y capacidades sociales, creativas y de sistemas, en especial la capacidad de desenvolverse en la complejidad (resolución de problemas complejos), la toma de decisiones bajo incertidumbre [33]¹ y el desarrollo de ideas novedosas. Pero esto tal vez no dure, pues las posibilidades de sustitución de las actividades mentales humanas por la inteligencia artificial son desconocidas [13].

¹ A este respecto, véanse también en esta misma obra los capítulos de los profesores Gil Aluja y Casado Juan, y de la profesora Gil Lafuente.

Ahora bien, en la medida en que las organizaciones requieran personas con capacidades no sustituibles por máquinas, el talento, más que el capital, será el factor productivo crítico y el más importante impulsor de competitividad. La nueva situación exigirá también de las personas capacidad para adaptarse continuamente y aprender nuevas destrezas y enfoques en una variedad de contextos –flexibilidad– [13].

Las empresas, por tanto, buscarán personas que sean buenas desempeñando tareas que la automatización inteligente difícilmente puede llevar a cabo, pero que a su vez sean capaces de añadir valor al uso de esta. Muy posiblemente habrá una alta demanda para conjuntos de habilidades abstractas y altamente educadas, como la inteligencia social y creativa. También habrá espacio laboral para tareas poco calificadas, pero no rutinarias y que requieran habilidades sociales [28].

También el propósito está adquiriendo una progresiva relevancia. Talento, capacidades, flexibilidad, son importantes, pero no suficientes. Las personas en la empresa, en especial las jóvenes recién incorporadas, no solo buscan remuneración por un trabajo bien hecho; quieren sentir que no son meramente parte de un proceso, sino de algo más grande que ellas mismas. Buscan en el trabajo un sentido de propósito. Ante un aumento de la complejidad y de la incertidumbre, el deseo de compromiso útil se está convirtiendo en una importante aspiración. El trabajo en la empresa no debe limitar la capacidad de las personas de encontrar significado y propósito a sus vidas. No se desea solo un equilibrio entre trabajo y vida privada, sino más bien una integración armoniosa entre ambas. Por tanto, la motivación de las personas en la empresa posiblemente sea cada vez más intrínseca, impulsada por el deseo de colaboración y la gestión de las destrezas, la autonomía y el significado [13].

Pero para desarrollar todo su potencial, estas nuevas cualidades de las personas necesitan un estilo gerencial diferente. Las empresas deben cambiar su enfoque desde las normas hacia los fines y valores, desde las

reglas y procedimientos hacia proporcionar significado tras las reglas, y desde la jerarquía hacia mayor autonomía [28]. Por tanto, el nuevo entorno complejo, dinámico e imprevisible requiere, como veremos más adelante, un nuevo tipo de liderazgo.

Respuesta empresarial

Una vez considerados los impactos que la conocida como “cuarta revolución industrial” puede producir tanto en las empresas como en las personas integradas en ellas, parece exigido fijar ahora nuestra atención en las formas y modos en que las empresas pueden hacerle frente. Recapitulando lo visto hasta ahora, nos encontramos ante un entorno turbulento, esto es, altamente dinámico, complejo e incierto, en el que las nuevas tecnologías disruptivas juegan un papel esencial. Ante estas circunstancias, la sostenibilidad del proyecto empresarial, el proyecto social de un grupo de personas, en todos los ámbitos –económico, social, medioambiental–, con un propósito claro y compartido, requiere imprescindiblemente de la innovación, que seguramente será compleja y abierta a diversos agentes y grupos de interés. Ello exige estrategias flexibles [23] que permitan a la empresa reaccionar con agilidad ante los cambios imprevistos y aprovechar las oportunidades, dirigidas más a configurar el futuro que a preverlo, que consideren como deseable la cooperación con otras empresas y entidades, y que se fundamenten más en los recursos y capacidades –existentes o posibles– que en la separación tradicional de mercados y sectores. Asimismo, ante la nueva importancia de las personas –incluso “mejoradas”– con alta formación, flexibilidad y capacidades cognitivas y creativas, la captación, retención y desarrollo del talento de las personas serán claves para el éxito. Ello requerirá también, junto a un nuevo tipo de liderazgo, nuevas estructuras organizativas, más flexibles, menos jerárquicas, más basadas en la asociación cooperativa.

Como ideas adicionales, las empresas, frente a las presiones de un entorno turbulento, están obligadas a mejorar su capacidad de adapta-

ción a nuevas condiciones. Esta capacidad dependerá no solo de ser innovadoras –actividad de “exploración”–, sino también de ser al mismo tiempo eficientes en sus rutinas organizativas –actividad de “explotación”– [34] [35].

Como indican Velthuisen et al. [28], recientemente han ido apareciendo nuevas formas organizativas altamente adaptables, más adecuadas a un entorno cambiante. Las organizaciones así configuradas entienden lo que se necesita para liberar todo el potencial de valor de las personas, pues han demostrado ser las más sostenibles, y también las más atractivas para los trabajadores en esta nueva era. La clave de todo ello es que están dirigidas por un propósito claro, y regidas por valores; involucran a la fuerza laboral, y fomentan una cultura colaborativa, la autonomía y el trabajo ágil, los cuales son el fundamento para la innovación, absolutamente imprescindible, como ya hemos indicado, para sobrevivir en la nueva era. Además, ofrecen una narrativa veraz acerca de su propósito (el por qué), las acciones que se toman (el qué) y sus valores, comportamientos y capacidades (el cómo). Comunican así el papel que tiene su negocio en el mundo, la manera en que son relevantes, y el valor diferencial que son capaces de crear.

Este tipo de empresas superan a sus pares, pues son capaces de:

- Atraer talento, y además crear implicación en la “guerra por el talento”.
- Crear compromiso positivo de los grupos de interés, porque comunican claramente lo que representan.
- Generar una fuerte imagen de marca y profundizar su posicionamiento en el mercado.
- Proporcionar una guía clara y sólida para la toma de decisiones.

- Fundamentar una cultura que clarifique nítidamente el comportamiento deseado.

Asimismo, las empresas capaces de combinar múltiples dimensiones y experiencias –digitales, físicas y biológicas– en beneficio de, y con la colaboración de diversos grupos de interés, tendiendo hacia modelos conectados en red y colaborativos, serán muy posiblemente capaces de afrontar los retos del futuro [13].

Para iniciar el nuevo camino, entendemos que ya existen referencias. Además de las nuevas organizaciones que, como acabamos de ver, han ido apareciendo en las sociedades más industrializadas [28], muchas empresas y organizaciones radicadas en países emergentes han aprendido a lidiar, durante un periodo temporal suficientemente extenso, con entornos cambiantes, complejos e inciertos, también en el ámbito tecnológico, consiguiendo triunfar en muchos casos. De hecho, existe ya literatura que analiza las claves del éxito en esas condiciones [16] [36] [37] [38] [39].

Con base en estos análisis, a continuación consideraremos, dentro de las características que, en nuestra opinión, deben reunir las empresas exitosas del futuro, los dos aspectos que consideramos más decisivos: propósitos y capacidades para conseguirlos.

Propósitos

A nuestro parecer, existen dos propósitos claros que deben guiar la actuación empresarial en las nuevas circunstancias: sostenibilidad e innovación.

Sostenibilidad

Como se ha indicado anteriormente, ante un entorno turbulento como el actual el deseo de compromiso útil, la búsqueda en el trabajo

de un sentido de propósito, se está convirtiendo en una importante aspiración. Por tanto, la sostenibilidad del proyecto empresarial debe ir más allá de la búsqueda de una ventaja competitiva sostenible. El proyecto empresarial es el proyecto social de un conjunto de grupos de personas –*stakeholders*–, que debe buscar la sostenibilidad en todos los ámbitos –económico, social y medioambiental–, siendo capaz de sobrevivir, adaptarse y crecer mediante el desarrollo de objetivos tanto a corto como a medio y largo plazo [10] [12] [13: 88-89].

Una organización sostenible se concentra en satisfacer las necesidades de todas las categorías de *stakeholders* y también en la creación de una cultura organizacional que permita a aquéllos aumentar su comprensión de los problemas sociales y ambientales, así como fomentar y mantener el desarrollo y el empoderamiento de las personas empleadas. Pero la mayoría de estos aspectos está afectada por iniciativas y proyectos tanto internos como externos, ya que las empresas no pueden ser competitivas sin recoger y procesar el conocimiento acerca de los problemas ambientales, sociales y económicos. Así, la tarea de los directivos se vuelve más compleja, pues deben identificar los elementos que influyen en la sostenibilidad de la empresa y desarrollar las estrategias adecuadas para garantizarla, y ello en un entorno cada vez más dinámico, complejo e incierto, como ya se ha indicado [23]. Por tanto, deben ser capaces de desarrollar una organización dinámica, capaz de no solo de analizar las fuerzas y tendencias que pueden desafiar su sostenibilidad, sino también establecer los procesos de cambio y capacidades dinámicas que la faciliten. Para ello deben fomentarse, por una parte, una cultura empresarial innovadora, y por otra el aprendizaje organizacional.

Innovación

Para seguir siendo competitivas y garantizar su supervivencia y sostenibilidad ante la cuarta revolución industrial, las empresas deben ubicarse en la frontera de la innovación en todas sus formas. En esta

época, los problemas de poder, conflictos y mercados pueden surgir de maneras inesperadas y mutantes, por lo que las empresas deben encontrar soluciones creativas y rápidas [36]. En consecuencia, para sobrevivir y prosperar, deben mantener y afinar continuamente su capacidad innovadora [13]. Ahora bien, como ya se ha comentado, la innovación será más compleja, mediante la combinación de varias tecnologías, y más abierta, con la participación ampliada de agentes tanto internos como externos.

Se han formulado numerosas definiciones de innovación. En este trabajo, siguiendo la concepción de Aljanabi y Kumar [40] y Pai y Chang [41] definiremos la innovación como la reunión de ideas procedentes de agentes tanto internos como externos, para a partir de ellas elaborar y suministrar productos o servicios valiosos.

En cuanto a los tipos de innovación, se han planteado diversas clasificaciones: innovación de producto –o servicio– frente a innovación de proceso, innovación tecnológica –*inputs* principales de I+D para obtener *outputs* como nuevos productos, procesos o dispositivos– frente a innovación de gestión –nuevos procesos administrativos, reglas, roles, procedimientos y estructuras–, pudiendo ser esta última de tipo organizacional o comercial [40] [41], innovación “cerrada” –centrada en la organización– frente a innovación “abierta” –realizada en colaboración con agentes externos– [21] [22], innovación “incremental” –pequeñas mejoras o ajustes sencillos en las actuales tecnologías o prácticas de gestión– frente a innovación “radical” –cambios fundamentales y revolucionarios, generalmente con fuerte componente tecnológico, que representan una clara salida de la práctica existente–. No obstante, la nueva situación requiere tal vez de nuevos conceptos: Así, a la anterior división se le ha añadido un nuevo tipo: la “innovación avanzada” –*breakthrough innovation*–; mientras esta última supone la introducción de, bien una nueva tecnología, bien un nuevo modelo de negocio, el concepto de “innovación radical” quedaría reservado para

la introducción simultánea de una nueva tecnología y un nuevo modelo de negocio [42]. Y, asimismo, adquiere nueva relevancia la ya conocida diferenciación entre “innovación de mantenimiento” –*sustaining innovation*–, en la que se siguen manteniendo los actuales productos, mercados y red de valor, de la “innovación disruptiva” –*disruptive innovation*–, que crea un nuevo mercado y una nueva red de valor, pudiendo también desbaratar un mercado y una red de valor existentes, desplazando los productos, las empresas líderes y las alianzas ya establecidos [43].

Ahora bien, ¿Qué tipo de innovaciones darán ventaja competitiva en la nueva situación?: pues, sin despreciar la innovación incremental –aproximadamente el 70% de las innovaciones efectivas caen dentro de esta categoría [42]–, es de esperar que las innovaciones importantes en el futuro sean avanzadas o radicales, abiertas, posiblemente disruptivas, combinando diversas tecnologías y complementadas con innovaciones organizacionales y de gestión.

Existe un consenso entre investigadores y profesionales sobre que el *stock* de conocimiento específico de una empresa, junto con las habilidades y capacidades dinámicas que permiten gestionar eficazmente los recursos de conocimiento estáticos, son los determinantes más importantes para la obtención de resultados de innovación superiores. El conocimiento creado, transferido y compartido es la principal fuente de innovación [44] [45]. Sobre ello volveremos más adelante.

Capacidades

Si hemos establecido que sostenibilidad e innovación son los propósitos básicos que deben guiar la acción empresarial en las actuales circunstancias, debemos plantearnos las capacidades dinámicas interrelacionadas que deben desarrollarse para conseguir esos propósitos. Y entendemos que, de lo expuesto hasta ahora, puede deducirse que las

principales son: flexibilidad organizacional, ambidestreza, aprendizaje organizacional, capacidad de gestión de riesgos y capacidad de gestión del conocimiento. A continuación consideraremos cada una de ellas.

Flexibilidad organizacional

En las páginas anteriores se ha insistido en que las organizaciones exitosas en la nueva situación serán aquellas que destaquen por su agilidad para adecuarse a las nuevas circunstancias y responder a cambios imprevistos [11], y para ello será necesario contar con flexibilidad organizacional.

Cuando se compete en entornos complejos e inciertos, las rutinas especializadas y programadas, comunes a las formas tradicionales de organización, son insostenibles [46]. Se necesita flexibilidad para hacer frente a la incertidumbre y el cambio. Resulta un factor clave para que las empresas puedan sobrevivir y prosperar en entornos turbulentos e impredecibles, y mantener la ventaja competitiva, pues hace a la organización más sensible al cambio [46].

Lund [47: 28] define la flexibilidad organizacional como “la capacidad de la empresa para reaccionar rápidamente ante los cambios en un entorno turbulento mediante nuevos productos y nuevos procesos tecnológicos, con base en formas organizativas integradoras y una cultura orientada hacia la renovación y el aprendizaje”. Ello implica facilidad de modificación, ausencia de compromisos irreversibles o rígidos [47], creación de capacidades para controlar e influir en el entorno, gestionar el caos y la adversidad y lograr la capacidad de innovación. Además, como capacidad general, engloba otras capacidades: flexibilidad interna y externa, flexibilidad estratégica, organizacional y operativa, ajuste estratégico, capacidad de absorción, adaptabilidad, capacidad de respuesta, etc. En consecuencia, podemos afirmar que se trata de una capacidad compleja y multidimensional [35].

Asimismo, la flexibilidad organizacional es condición necesaria para lograr el equilibrio entre exploración y explotación, sobre el que volveremos al tratar la ambidestreza. Así, mientras la exploración puede ser asociada con la flexibilidad, la explotación puede ser vinculada a la eficiencia. Por otra parte, la flexibilidad absoluta no existe: ninguna organización es capaz de dar una respuesta inmediata a un cambio en el entorno. La transformación organizacional requiere un tiempo, luego las estrategias empresariales pueden ser diferentes según el grado de dinamismo del entorno.

Así, como indica Sopelana-Gato [35] la flexibilidad organizacional ayuda a las empresas a lograr el equilibrio entre cambio y estabilidad, exploración y explotación, mediante la implementación de iniciativas de cambio en sus dimensiones. Debido a que es un concepto multidimensional, necesita ser observado con una lente tanto sistémica como temporal. Se necesita tiempo para transmitir a los miembros de la empresa la necesidad de cambio y de rediseñar eficientemente las condiciones de la organización. Por otra parte, existen una serie de circunstancias en las que las organizaciones pueden fallar en la implementación exitosa de estrategias de cambio (rutinización-explotación y revitalización-exploración) en orden a conseguir el nivel deseado de la flexibilidad organizacional: si los directivos no consiguen desarrollar una percepción adecuada de las fuerzas competitivas en juego, si la organización es demasiado lenta en actualizar su percepción sobre el ajuste requerido, si la estrategia de cambio seleccionada por la organización no se ajusta a las necesidades del entorno, o si la organización es incapaz de imponer el adecuado control sobre el tiempo de implementación de las estrategias y sobre la reducción de la resistencia al cambio en entornos rápidamente cambiantes.

Así, la percepción equivocada de los directivos puede hacer que la empresa escoja una trayectoria de cambio organizativo inadecuada. Para evitar esto, los directivos deben comenzar el proceso centrandose

sus esfuerzos en ajustar (reducir/aumentar) la capacidad de absorción (“metaflexibilidad”) [41] [48] [49] [50] y asegurarse de que las estrategias planteadas responden adecuadamente a la turbulencia ambiental existente a la que se enfrenta la empresa [35].

Por otra parte, los esfuerzos de la empresa por lograr el nivel óptimo de flexibilidad organizativa generan resistencia al cambio, lo cual puede detener o retardar el proceso de adaptación. Las organizaciones que establezcan controles sobre la resistencia al cambio lograrán mejores resultados [35].

Ambidestreza - Exploración y explotación

Esta capacidad está íntimamente ligada a la anterior. Ya hemos comentado cómo la flexibilidad organizacional es condición necesaria para lograr el equilibrio entre explotación y exploración, lo cual adquiere todo su significado en entornos turbulentos [34]. March [51] propuso que la explotación y la exploración son dos actividades de aprendizaje fundamentalmente diferentes, por lo que las empresas deben dividir su atención y sus recursos entre ambas actividades. La explotación se refiere a crear confiabilidad basada en la experiencia y las rutinas; prospera sobre la eficiencia, la productividad y el refinamiento. La exploración, por su parte, se refiere a la creación de variedad a través de la experiencia; prospera mediante la experimentación y la libre asociación. Exploración y explotación también se refieren a los flujos y procesos del conocimiento en las organizaciones [22]. March [51: 105] señaló que “el problema básico que afronta una organización es involucrarse en explotación suficiente para garantizar su viabilidad real, pero, al mismo tiempo, dedicar suficiente energía a la exploración para garantizar su viabilidad futura”. Tushman y O’Reilly [52] propusieron que las organizaciones necesitan explorar y explotar simultáneamente, esto es, ser ambidestras. Definen la ambidestreza organizacional como “la capacidad para lograr simultáneamente tanto la innovación incre-

mental como la innovación discontinua... alojando en la misma empresa estructuras, procesos y culturas múltiples y contradictorias” [52: 24]. Por tanto, la ambidestreza en la organización dependerá de que ésta no solo sea eficiente en sus rutinas organizativas, sino también de que sea al mismo tiempo innovadora, avanzada, radical o disruptiva.

Ahora bien, las formas y arquitecturas que permiten la ambidestreza son diversas: en unos casos la estructura organizacional refleja una separación especializada de las dos actividades, lo cual requiere una fuerte cohesión para integrar las dos estructuras; en otros casos se pretende lograr dinámicamente, alternando de forma secuencial estructuras organizativas que promuevan la exploración o explotación, respectivamente; en otros casos la ambidestreza puede estar más dispersa dentro de la organización, de forma que se fomente en todas las personas, aunque el componente exploratorio suele ser mayor en la de más alto nivel. En todo caso, la supervivencia en las empresas del futuro dependerá en gran medida de su habilidad para desarrollar ambidestreza.

Capacidad de aprendizaje organizacional

Hemos visto cómo la ambidestreza permite a las organizaciones compaginar dos actividades de aprendizaje como son la explotación y la exploración. Ahora bien, el aprendizaje es el desarrollo de nuevos conocimientos que permiten la innovación. Por tanto, la capacidad de aprendizaje organizacional se encuentra íntimamente ligada con la capacidad de gestión del conocimiento y la capacidad de innovación [34] [53].

Los entornos turbulentos, con altos niveles de incertidumbre y ambigüedad, las organizaciones necesitan personas con grandes necesidades y deseos de aprender; por ello, el aprendizaje organizacional efectivo ha sido considerado esencial para afrontar con éxito la turbulencia ambiental [53]. La “capacidad de aprendizaje organizacional” [54] es una capacidad dinámica basada en una cultura de aprendizaje que pro-

mueve la adquisición, creación y transferencia de conocimiento como valores fundamentales [55], y ha sido definida como “la capacidad de la empresa para aprender de fuentes internas y externas y ajustar o modificar su comportamiento para reflejar la nueva situación cognitiva, a fin de mejorar su rendimiento” [56: 38].

El concepto de capacidad de aprendizaje organizacional se ha ido enmarcando [56] [57], presentándose actualmente como un constructo multidimensional con cinco dimensiones esenciales para poder abordar con éxito la turbulencia ambiental [38] [39] [57]. Estas son:

1. Interacción con el entorno externo; es una condición previa clave para ser consciente del dinamismo ambiental.
2. Apertura y experimentación, esto es, la medida en que las nuevas ideas y sugerencias son atendidas y tratadas con simpatía.
3. Toma de riesgos: tolerancia a la ambigüedad, la incertidumbre y los errores. Ayuda a afrontar incertidumbre.
4. Diálogo: consulta colectiva sostenida o un proceso básico que mejora comunicación y permite a las personas ver los ocultos significados de palabras.
5. Toma de decisiones participativa: es el nivel de influencia que tienen los empleados en el proceso de toma de decisiones. Parece especialmente apropiado cuando se debe hacer frente a la complejidad.

Un aspecto importante es la relación entre la capacidad de aprendizaje organizacional, la gestión del conocimiento y la innovación. Así, empíricamente se ha encontrado que esta capacidad es un antecedente de la innovación [58]. Además, se muestra de forma tanto conceptual como empírica que facilita la relación entre la capacidad de gestión del

conocimiento y los resultados de innovación. Aprender de las fuentes internas y externas es fundamental para crear nuevos conocimientos. Por otra parte, los nuevos conocimientos no mejorarán automáticamente la capacidad de innovación de una empresa a menos que en primer lugar sean asimilados por las personas empleadas. Cuando la capacidad de aprendizaje en una organización es alta, las personas pueden absorber bien los activos de conocimiento existentes y operacionalizarlos de manera más efectiva. Así, esta capacidad, como facilitador, refuerza el poder de la propia capacidad de gestión de conocimiento como el motor básico de resultados de innovación [49] [39] [59].

En la misma línea, Kamasak et al. [39] encuentran que mayores niveles de dinamismo ambiental y de capacidad de aprendizaje hacen más fuerte la vinculación positiva entre las capacidades de gestión de conocimiento y resultados de innovación. Así, mientras que el dinamismo ambiental puede obligar a las empresas a mejor asimilar y utilizar la nueva información, crear nuevas configuraciones de producto y moverse fácilmente a nuevos mercados a través de sus capacidades de gestión de conocimiento, la capacidad de aprendizaje mejora la comprensión del conocimiento organizacional y ayuda a la empresa a incorporar este conocimiento en los procesos organizacionales.

Capacidad de gestión de riesgos²

En un entorno progresivamente incierto, el desarrollo de la capacidad para la gestión de riesgos resulta fundamental. Ahora bien, estimamos que debería denominarse con más propiedad “capacidad para la gestión de la incertidumbre”, porque la situación actual se ajusta mucho más a los requisitos de incertidumbre que a los de riesgo [1] [33]. No obstante, aceptaremos la denominación más generalizada, aunque revista cierto grado de incorrección.

² Una visión más extensa del tema se encuentra en el capítulo elaborado por el Profesor Poch Torres en esta obra.

La gestión de riesgos ha recibido considerable atención en época reciente [9] [23] [60]. Ahora bien, estimamos oportuno insistir de forma previa en algunas ideas ya enunciadas con anterioridad:

- El mundo actual es menos previsible, pero no es necesariamente una mala noticia. Además de confiar en el desarrollo de mejores métodos para la decisión en condiciones de incertidumbre [33]³, debemos tener en cuenta que, si el futuro no está escrito, dedicarse a construirlo tiene mucho más sentido que procurar preverlo con precisión. Si resulta difícil predecir el futuro, debe insistirse en configurarlo [8].
- La incertidumbre no es siempre negativa: puede ser también fuente de valor si se sabe explotar las oportunidades con agilidad y flexibilidad.

Pasando a la consideración de la gestión de riesgos en la nueva situación, estimamos que se deben tener en cuenta una serie de principios [8].

En primer lugar, deben establecerse sistemas de vigilancia, tanto de tipo competitivo como tecnológico, a fin de detectar con la mayor rapidez posible los cambios en el entorno.

En segundo lugar, los riesgos deben ser analizados desde la perspectiva de un mundo globalizado, complejo e incierto, donde los acontecimientos pueden alcanzar cada vez con más frecuencia un carácter sistémico.

En tercer lugar, debe prescindirse del supuesto de la fácil previsibilidad de los acontecimientos. Así, sin excluir la posibilidad de nuevas y mejoradas técnicas de anticipación, parece sensato asumir la incertidumbre como una característica esencial del entorno económico-financiero globalizado.

³ Véase también lo indicado en la nota 2 de este capítulo.

En cuarto lugar, debe confiarse no tanto en la previsión como en la prevención, esto es, más que tratar de predecir acontecimientos, se deben detectar fragilidades mediante análisis de simulación, análisis de efectos olvidados [61], etc. Se debe buscar la robustez, la resiliencia e incluso la “antifragilidad” [4].

En quinto lugar, los instrumentos para limitar *a priori* la formación de riesgos deben emplearse de forma que no anulen las fuentes de oportunidad. Y deben desarrollarse agilidad y flexibilidad para aprovechar las fuentes de oportunidad.

Y, por último, al considerar los tipos de riesgos, debe tenerse en cuenta que lo que antes no era global, esto es, la tecnología, ahora lo es, y al contrario, lo que antes era global, esto es, las cadenas de valor y las producciones, ahora tienden a ser locales [9] [24]. En consecuencia, posiblemente haya que ir desplazando la atención desde el riesgo de ruptura de la cadena de valor [62] hacia los riesgos más tecnológicos, como los de empleo de tecnologías digitales –ciberseguridad y *big data* [15]–, y añadir uno nuevo, el de aparición de nuevas tecnologías con capacidad de de innovación disruptiva.

Capacidad de gestión del conocimiento

La economía mundial ha evolucionado hacia una economía basada en el conocimiento, recogiendo las mejores prácticas tomadas de los distintos tipos de economías: intensivas en servicios, intensivas en industria, o intensivas en trabajo, a lo que se han añadido recursos basados en conocimiento, de forma que se ha configurado un sistema económico no solo interconectado y globalizado, sino en el que las fuentes de conocimiento son actores cruciales en el crecimiento económico.

Pasando al ámbito empresarial, ya hemos visto que la capacidad de aprendizaje organizacional está basada en una cultura cuyos valores bá-

sicos son la adquisición, creación y transferencia de conocimiento [55]. En consecuencia, la capacidad de la organización para gestionar los procesos de conocimiento llega a ser fundamental. Ahora bien, ello requiere, como ya se ha indicado, tener en cuenta un entorno caracterizado por las nuevas tecnologías con potencialidad disruptiva, la complejidad y la impredecibilidad. En este sentido, la agilidad para responder a los cambios resulta imprescindible.

El conocimiento puede ser gestionado a través de una serie de procesos coordinados de creación, difusión, integración y aplicación [44] [55]. El primero está asociado a la actividad de exploración, mientras que los otros tres, y en especial el último, se vinculan a la explotación [22].

La creación de conocimiento incluye la adquisición y el desarrollo de conocimientos desde fuentes tanto internas (departamentos de I+D, persona empleadas) como externas (clientes, proveedores y competidores), así como la conversión del conocimiento en formatos aplicables, junto con su almacenamiento en el repositorio de conocimiento de la organización [59].

Por su parte, la difusión de conocimiento se refiere a la distribución y el intercambio de conocimientos a través de todos los niveles de la organización [63]. Este proceso es focal para muchos autores, y el aspecto más importante de la gestión del conocimiento [64], pues requiere intercambio de conocimientos colectivos, experiencia, habilidades y pericia, y su diseminación por toda la organización a fin de establecer nuevas rutinas y modelos mentales para aplicar el conocimiento, que resultarán en la generación de innovación y, en definitiva, en la creación de ventajas competitivas para la organización. Es favorecido por estructuras organizacionales planas, con pocos niveles jerárquicos, que también favorecen la flexibilidad organizacional. No obstante, se observa que la literatura sobre la economía del conocimiento se centra fuertemente en la generación de conocimiento, atendiendo menos al impacto

y difusión del mismo. Sin embargo, como ya hemos indicado, una lección clave del debate sobre la productividad es que las ganancias significativas en este aspecto se logran únicamente cuando las nuevas tecnologías están ligadas a prácticas organizativas complementarias, que permitan entre otras cosas, la difusión del conocimiento y su aplicación útil [13].

Pasando a la integración de conocimiento, se trata de la organización, reestructuración e interpretación de los conocimientos existentes a través de, entre otros, directivas, rutinas organizativas y equipos de trabajo autónomos, para establecer una base de nuevo conocimiento significativo y maximizar la sinergia de conocimientos [59].

Por último, la aplicación de conocimiento es el uso del conocimiento valioso y estratégico para desarrollar competencias organizacionales y conseguir resultados como cambios en el comportamiento de los destinatarios, desarrollos de nuevos productos, mejoras en la innovación y la excelencia operativa, refuerzo de las relaciones externas y ajustes en la dirección estratégica, que conduzcan al sostenimiento y mejora de la ventaja competitiva [59].

Estos cuatro procesos se complementan y apoyan mutuamente unos a otros, permitiendo a la empresa crear y aprovechar las sinergias de conocimiento entre unidades de la organización, así como renovarlas a medida que se deprecian y llegan a ser obsoletas [44].

El conjunto de habilidades que permiten a una organización gestionar sus recursos de conocimiento con eficacia a través de tales habilidades constituyen lo que se denomina “capacidad de gestión del conocimiento”. Esta capacidad está altamente asociada al rendimiento de la innovación, como insistiremos más adelante [39] [59]. Operando en entornos extremadamente dinámicos, las empresas deben reconfigurar también dinámicamente su cartera de recursos de conocimiento, para

impulsar la capacidad de gestión de los mismos, al objeto de conseguir un mayor rendimiento de la innovación [17].

La capacidad de gestión del conocimiento está vinculada asimismo a la capacidad de aprendizaje organizacional. Diversos estudios [53] [65] indican que una mejora la otra, ya que proporciona una mejor coordinación interna y externa, aumenta el compromiso gerencial, genera apertura y trabajo en equipo más eficaces, y permite a las empresas adaptar más fácilmente nuevos conocimientos [56]. Por tanto, es un complemento crítico de la capacidad de gestión de conocimiento y, como se insistirá más adelante, se debe considerar como un importante moderador en la relación entre ésta y el rendimiento de la innovación [59]. Además, como también se comprobará, los efectos de la capacidad de aprendizaje organizacional y del dinamismo del entorno sobre la relación anterior son especialmente fuertes en entornos altamente turbulentos, en los que la comprensión rápida y rigurosa de los cambios y la adaptación del nuevo conocimiento son imprescindibles [18] [39].

Igualmente la capacidad de gestión del conocimiento se vincula a la flexibilidad organizacional. Ésta, como ya se ha indicado, resulta especialmente necesaria en entornos turbulentos. Ahora bien, precisamente la capacidad de gestión de conocimiento proporciona a las empresas agilidad y capacidad para responder rápidamente a las demandas de los mercados dinámicos e hipercompetitivos mediante productos y servicios innovadores [39].

Asimismo, capacidad de gestión del conocimiento y capacidad de gestión de riesgos se encuentran íntimamente ligadas. La gestión del riesgo –de la incertidumbre– depende claramente de cómo se gestionen las fuentes y procesos de conocimiento de la empresa. Y esto resulta especialmente notorio en contextos de turbulencia del entorno. Ya Marshall et al. [66: 79] establecieron que “en un sentido material, la gestión de riesgos es la gestión del conocimiento”.

Interacción para la consecución de propósitos

Hemos considerado en los párrafos anteriores cómo la capacidad de gestión del conocimiento organizacional, especialmente en entornos turbulentos, debe vincularse con la capacidad de gestión de riesgos, la flexibilidad organizacional, la ambidestreza y la capacidad de aprendizaje organizacional. A continuación veremos cómo estas capacidades, en entornos de alta complejidad e incertidumbre, pueden interactuar para conseguir los dos propósitos principales que hemos considerado vitales en las organizaciones de cara a la nueva época: sostenibilidad e innovación.

Ahora bien, dada su estrecha vinculación con el resto de capacidades, consideramos que la capacidad de gestión del conocimiento ocupa un lugar central al respecto, pues juega un papel prominente para facilitar, entre otras cosas, cómo las organizaciones impulsan su creatividad y su capacidad de innovación [49] [63] [44]. Además, como ya se ha indicado, también está altamente asociada al rendimiento de la innovación [39] [45] [59]. Tanto la creación y aplicación de nuevo conocimiento como la revelación, difusión y reconfiguración del ya existente resultan en la generación de nuevos productos y servicios, lo cual conduce al éxito en la innovación. De hecho, la innovación emerge como el resultado de la combinación de elementos de conocimiento en la organización. El conocimiento es la materia prima clave para la innovación, pues los recursos de conocimiento de las empresas están fuertemente asociados al proceso de innovación [59] [55]. Al fin y al cabo, la innovación abierta, que tendrá un papel cada vez mayor, depende básicamente de los flujos y procesos de conocimiento [22].

Ahora bien, esta relación entre gestión del conocimiento e innovación se refuerza en condiciones de turbulencia del entorno, pues en ellas las organizaciones deben reconfigurar con rapidez su cartera de recursos de conocimiento, impulsando la capacidad de gestión de los mis-

mos, para obtener mayor rendimiento de la innovación [17]. Los ambientes de alta incertidumbre obligan a las empresas a promover la creación de nuevo conocimiento específico, y mejorar el pensamiento creativo que conduzca a superiores resultados de innovación. Si un ambiente es percibido como dinámico, las empresas necesitan utilizar los repositorios de conocimiento más eficaces y mejorar su gestión del conocimiento a través de información en tiempo real, redes cross-funcionales y comunicación intensiva apoyada por habilidades de información y comunicación para ayudar a vincular las experiencias no lineales de aprendizaje, tanto entre sí como con los resultados de innovación [45]. En esas circunstancias los procesos de conocimiento afectan positiva y significativamente tanto a la capacidad e innovación como a los resultados de la misma. Otros estudios, también en entornos turbulentos, han mostrado una clara relación positiva entre gestión del conocimiento y calidad de la innovación en las empresas, y también entre calidad de la innovación y creación de valor [67] [68]. La difusión del conocimiento parece ser la base para la adopción, mejora y difusión de innovaciones [40] [69].

Investigaciones realizadas en empresas de países emergentes, operando en entornos duros y altamente turbulentos [37] [39] muestran que han adquirido capacidades de aprendizaje y de gestión del conocimiento diferentes a las desarrolladas en entornos más estables. El éxito de estas empresas no solo emana de sus ventajas de bajo coste de la mano de obra, sino también, y principalmente, de sus grandes habilidades para captar las necesidades del mercado (por ejemplo, sobre cuándo cambiar las gamas de productos o acelerar la logística de suministro) mediante una eficaz gestión del conocimiento [36]. Mientras que en entornos más estables se emplean más profusamente las rutinas organizativas –“explotación”–, las empresas de países emergentes dan mayor importancia a la “exploración”, empleando procesos basados en el conocimiento [37]. Por tanto, en contextos de alto dinamismo y ambigüedad, empresas con más fuerte capacidad de gestión del conocimiento tienen mayor capaci-

dad de adaptación, y por tanto son capaces de tomar el curso de acción correcto, resultando en un mejor desempeño de la innovación.

La capacidad de aprendizaje juega también un papel relevante al respecto: como ya se ha indicado, mayores niveles de dinamismo ambiental y capacidad de aprendizaje contribuyen a fortalecer la vinculación positiva entre las capacidades de gestión de conocimiento y los resultados de innovación. En la medida que la incertidumbre derivada del alto dinamismo del entorno afecta a la disponibilidad del conocimiento y limita su aplicación, las empresas necesitan aprender más sobre el entorno, y de ese modo generar nuevos conocimientos a través de una más eficaz capacidad de gestión del conocimiento, que conduzca a mejores resultados de la innovación. Por tanto, mientras que el dinamismo ambiental puede obligar a las empresas a asimilar y utilizar de manera más eficiente la nueva información, crear más configuraciones de nuevos productos y moverse más fácilmente hacia nuevos mercados a través de su capacidad de gestión de conocimiento, la capacidad de aprendizaje mejora la comprensión del conocimiento organizacional y ayuda a las empresas a incorporar este conocimiento en los procesos organizacionales. En entornos turbulentos las empresas con mayor nivel de capacidad de aprendizaje organizacional desarrollan una capacidad de gestión del conocimiento más eficaz, lo cual conduce a mejores resultados de la innovación [39].

Vemos pues que, en el entorno económico actual, los procesos de creación, retención y especialmente difusión de conocimiento, junto con el aprendizaje organizacional, pueden dar lugar a estrategias capaces de abrir muchas ventanas de oportunidad para que las organizaciones sean capaces de generar competencias distintivas mediante un adecuado ejercicio de la capacidad de innovación. Ahora bien, la flexibilidad organizacional y la ambidestreza son, como hemos considerado, también capacidades imprescindibles para conseguir el éxito en la innovación. En cuanto a la capacidad de gestión de riesgos, aunque no de manera tan directa como otras capacidades, debemos tener en cuenta

que establece una base para la actuación de la empresa en un entorno incierto; además, a través de los sistemas de vigilancia tecnológica y del estímulo a la agilidad y flexibilidad para aprovechar las fuentes de oportunidad, también contribuye a la innovación.

En cuanto a la consecución de la sostenibilidad, una primera fuente para la misma es la innovación, a la que, como ya se ha considerado, contribuyen todas las capacidades examinadas; pero, además, la capacidad de gestión de riesgos resulta decisiva al respecto, analizando las fuerzas y tendencias que pueden desafiar su sostenibilidad. Y, como ya se ha indicado, la capacidad de todas las categorías de *stakeholders* para el aprendizaje organizativo sobre los problemas sociales y ambientales, así como sobre los procesos de cambio y capacidades dinámicas que faciliten la sostenibilidad en todas sus formas, resulta asimismo esencial. Naturalmente, todos esos recursos intangibles deben ser continuamente analizados y monitorizados para que puedan contribuir de forma sostenible a la creación de valor [70].

Las personas en la empresa

Hemos examinado en las páginas anteriores los propósitos que deben guiar a las empresas en la superación de los retos planteados por la cuarta revolución industrial, así como las capacidades que estas deben reunir para llevar a cabo esos propósitos. Ahora nos planteamos: ¿Cuál será el papel de las personas en las empresas del futuro? Pudiera pensarse que con el progresivo desarrollo de las nuevas tecnologías la importancia de las personas en la empresa se reducirá considerablemente. Sin embargo, nosotros, al contrario, opinamos que el papel de las personas será crítico, pues, como ya se ha indicado, las personas en la empresa efectuarán tareas decisivas, que no puedan hacer las máquinas, por lo que el talento muy posiblemente llegará a ser el factor productivo crítico y la forma dominante de ventaja estratégica. En este sentido, estimamos que las nuevas empresas, para poder competir con éxito y de

forma sostenible en el nuevo entorno, deberán ser no menos, sino más humanas. La humanización de la perspectiva organizacional llegará a ser el núcleo y el marco para todos los niveles de productividad y competitividad [70]. En el futuro, las evaluaciones de los puestos de trabajo, los modelos de compensación, y los propios mercados de trabajo, deberán ajustarse para hacer énfasis en los valores específicos que únicamente pueden aportar los seres humanos, frente a los elementos técnicos y cognitivos que pueden ser mejor efectuados por sistemas tecnológicos [28]. Los recursos humanos se convertirán así en el recurso más valioso, crucial, que deberá ser gestionado con eficacia [71].

Adoptamos, por tanto, una posición coincidente con la del Profesor Gil Aluja [19] en el sentido de destacar la relevancia de la subjetividad del ser humano, y de sus decisiones, en especial en entornos complejos e inciertos. Cada vez más son las personas, con su talento, sus conocimientos, sus capacidades y sus valores, las fuentes básicas para el desarrollo de la innovación de la empresa, y por lo tanto para la competitividad y la creación de valor sostenible [13] [20]. La cultura organizativa y la gestión basadas en las personas permitirán a las empresas hacer frente a los desafíos planteados por las nuevas condiciones del entorno. Es lo que hemos denominado “nuevo humanismo empresarial”.

Los sistemas artificiales inteligentes pueden contribuir a la automatización de ciertas funciones, pero su verdadero potencial reside en complementar y aumentar las capacidades humanas⁴. Por tanto, lo que debe plantearse no es si y cómo las máquinas reemplazarán a los seres humanos, sino cómo los seres humanos –incluso “mejorados”– y las máquinas podrán complementarse mutuamente, y qué características deben reunir las personas empleadas para ser capaces de aportar valor a las empresas del futuro, más allá de sus habilidades cognitivas [28]. A ello dedicaremos este y el siguiente apartados.

4 Así, la combinación de robots y personas ofrece en muchos casos mejores resultados; además, hace posible una producción flexible y adaptable a las cambiantes necesidades de la clientela. De forma similar, la inteligencia colectiva apoyada en la inteligencia artificial obtiene resultados muy superiores [28].

En primer lugar profundizaremos en la importancia de las personas en la empresa, y especialmente en un ambiente dinámico, complejo e incierto, caracterizado por las innovaciones disruptivas de carácter tecnológico.

Existe el peligro de poner excesiva confianza en las tecnologías, en la idea de que éstas pueden sustituir a las personas en casi cualquier puesto de trabajo. Deben tenerse en cuenta sus limitaciones: por ejemplo, en el caso de la Inteligencia Artificial, si las decisiones tomadas empleando algoritmos de aprendizaje son erróneas, las máquinas no son capaces ni de rendir cuentas por ellas, ni de explicar, en un lenguaje comprensible para las personas, por qué las han tomado [72]. No parece que en el corto plazo lleguen a desarrollarse “personas artificiales” (inteligencias artificiales con autoconciencia, cognición, sabiduría, talento y valores), dadas las limitaciones actuales y previsibles de la IA, pero sí pueden generarse nuevas e interesantes interacciones persona-máquina [72], que incluso pueden conducir a personas “mejoradas”.

Existe una abundante literatura sobre la relevancia de las personas, sus conocimientos, capacidades y valores, sobre la capacidad de las empresas actuales para crear valor y mantener una competitividad sostenible. Las empresas, en un entorno globalizado, cambiante, complejo e incierto, requieren de personas con competencias, actitudes y agilidad mental, que les permitan pensar de manera sistémica y en un entorno altamente tecnológico. Por tanto, ya en la actualidad, la clave de la competitividad reside en las personas. Y los cambios del entorno determinarán las nuevas exigencias en términos de conocimientos, habilidades y capacidades. En este contexto, el capital humano, como suma de formación, habilidades y competencias de las personas en la empresa, constituye un elemento esencial para su supervivencia, y supone un potencial de mayor eficiencia [53] [70] [73]. Además, a diferencia de las tecnologías, este capital es difícil de sustituir, ya que no existen dos personas con las mismas características; las personas disponen de conocimiento tácito que es difícil de imitar, se adquiere *in situ*, por lo que

una gran parte de este capital solo se puede desarrollar internamente. Las empresas dotadas de un buen capital humano son más capaces de ofrecer servicios de mejor calidad y por tanto, retener y atraer nuevos clientes, teniendo más posibilidades de supervivencia.

De hecho, los autores que siguen el enfoque del capital intelectual resaltan la importancia de la dimensión de capital humano, considerándolo como la “piedra angular” del capital intelectual. La dimensión humana parece ser ya la más importante de la organización, al menos lo es para muchos autores [73], y también para la mayoría de los directivos [49] [75]. La carencia de una adecuada dimensión humana condiciona de forma negativa el resto de actividades de la empresa. Además, los resultados empresariales superiores atribuibles al capital humano son sostenibles en el tiempo, debido a la naturaleza intangible y compleja de este tipo de capital.

Según las percepciones de los directivos empresariales, los factores de competitividad considerados en conjunto más importantes fueron las competencias, y entre estas, las asociadas al capital humano, esto es, a las personas en la empresa [20] [75]. Además, son las competencias clave asociadas a las personas las que presentan una vinculación más clara y significativa con variables de rentabilidad [75]. Por otra parte, las competencias de recursos humanos están en el origen de otros tipos de competencias, como las relacionales y organizativas [20] [75]. Personas con altos conocimientos y habilidades, altamente motivadas y adecuadamente lideradas, son la fuente fundamental de ventaja competitiva.

Pero, ¿seguirá siendo así en la nueva era tecnológica, volátil, compleja e incierta? Anteriormente hemos considerado los propósitos más importantes que deben guiar a las organizaciones en esta nueva era: sostenibilidad e innovación; y también las capacidades dinámicas interconectadas que deben desarrollar las empresas para conseguir esos propósitos en el actual entorno turbulento: flexibilidad organizacional, ambidestreza, ca-

pacidad de gestión de riesgos, capacidad de aprendizaje organizativo y capacidad de gestión del conocimiento. Pues, bien, las personas en la empresa son un elemento central tanto para el logro de esos propósitos como para la generación y desarrollo de esas capacidades.

Así, respecto del propósito de sostenibilidad, ya hemos indicado que ésta, en todos sus aspectos –económico, social y medioambiental– debe basarse en las personas, pues no se conseguiría si los grupos de personas –*stakeholders*– que sostienen el proyecto empresarial no obtienen satisfacciones razonables, no alcanzan suficiente empoderamiento y además no adquiere consciencia de la repercusión social y medioambiental de la actividad empresarial [10] [12] [16: 88-89].

Con respecto al segundo propósito, esto es, la innovación, además del hecho evidente de que son las personas las que producen las innovaciones, diversos estudios [76] [53] [50] [68] [71] muestran la vinculación entre las personas en la empresa –el Capital Humano– y la innovación, aunque generalmente mediante la intervención de otros factores, como los procesos de conocimiento, la capacidad de aprendizaje organizacional o la cultura organizacional.

En cuanto a las capacidades dinámicas necesarias para conseguir estos propósitos, comenzando con la flexibilidad organizacional, está claro que esta no se puede conseguir si las personas en la empresa no son flexibles a su vez: los directivos deben desarrollar una percepción adecuada de las fuerzas básicas en juego en un entorno turbulento, mientras que debe procurarse que las persona empleadas reduzcan su nivel de resistencia al cambio [35].

Respecto de la ambidestreza, aunque algunas experiencias empresariales la han desarrollado desde un planteamiento organizacional, la tendencia más general es, como ya se ha indicado anteriormente, que se desarrolle en todas las personas de la empresa.

Pasando a la capacidad de aprendizaje organizacional, ya hemos indicado cómo las personas crean esta capacidad, y cómo ambas son los principales factores que impactan sobre los resultados de innovación [76]. Además, también parece producirse un efecto positivo de la capacidad de aprendizaje organizacional sobre la capacidad innovadora de las persona empleadas [68]; asimismo, existe evidencia de que el desarrollo de esta capacidad ayuda a las personas trabajadoras del conocimiento a hacer frente a los retos de entornos turbulentos [58].

Esta vinculación con las personas también se manifiesta en un componente concreto de la capacidad de aprendizaje organizacional, como es la capacidad de absorción de conocimiento externo. Los factores más valorados al respecto eran los relativos al capital humano, junto a los vinculados a una cultura orientada al mercado o innovadora, agrupándose en una dimensión “humano-cultural” [49] [50].

En cuanto a la capacidad de gestión de riesgos y la capacidad de gestión del conocimiento, estrechamente vinculadas, debemos partir de una idea básica: el conocimiento está en las personas. Como ya se ha indicado, la actividad básica de la gestión de conocimiento es la gestión de la comunicación del conocimiento, esto es, la difusión del mismo. El nuevo conocimiento se crea a través del intercambio de conocimiento entre sus distintos tipos y a diferentes niveles organizativos, siendo el nivel básico el de las personas [55]. Por tanto, personas motivadas y satisfechas son la mejor garantía de una adecuada capacidad de gestión del conocimiento.

Cualidades de las personas

En el apartado anterior hemos considerado la relevancia de las personas en la empresa, y cómo esa relevancia muy posiblemente se incrementará en el futuro, pues son la base tanto para lograr los propósitos que deben plantearse las empresas ante el nuevo entorno como para generar las capacidades que permitan alcanzar esos propósitos. Ahora bien,

no serán relevantes cualquier tipo de personas. El nuevo entorno, tecnológicamente disruptivo, complejo, dinámico e incierto, requerirá personas con determinadas cualidades y calidades: valores y capacidades.

La pregunta, por tanto, como ya se ha indicado, no es tanto cómo los sistemas tecnológicos reemplazarán a los seres humanos, sino cómo conseguir que ambos se complementen mutuamente, y cómo las personas podrán añadir valor en sus organizaciones, más allá de sus habilidades cognitivas. Algunas capacidades, como la adaptabilidad y creatividad, o la capacidad de comunicación y la de resolución de problemas, ya están siendo importantes, y lo serán más en el futuro. Pero también la empatía, la atención a las personas y la integridad serán valores necesarios para construir un puente entre las tecnologías y una mayor prosperidad compartida en un entorno rápidamente cambiante [28].

A continuación vamos a concretar las cualidades más relevantes que, en nuestra opinión, deberán reunir las personas para aportar valor a sus organizaciones en el entorno que se está configurando. Son, por una parte, valores, y por otra capacidades.

Valores

En cuanto a los valores, debe tenerse en cuenta que tanto propósito como valores son los activadores de la ejecución de la estrategia. Las personas pueden aportar valores humanos únicos a su lugar de trabajo, creando así una cultura que en el nuevo entorno tendrá más garantías de éxito [28]. Entre estos valores destacaremos la ética y la responsabilidad social, la creación de significado, la atención y la empatía, y el aprendizaje permanente.

La ética y la responsabilidad social son ya evidentemente valores importantes, pero entendemos que lo serán más en el futuro: ya hemos considerado que para hacer frente a las nuevas circunstancias debe de-

sarrollarse en las organizaciones un sentido de propósito, de tarea colectiva, en la que estén involucrados todos los *stakeholders*. Todas las personas en la empresa deberán desarrollar la conciencia de pertenencia a un colectivo con un propósito, así como la atención a las expectativas e intereses del resto de *stakeholders*.

En cuanto a la creación de significado, debe tenerse en cuenta que las personas nacen para vivir una vida que conduce hacia la autoexpresión y la autoactualización. Podemos hacer una diferencia aprehendiendo nuestro entorno, equilibrando los intereses de todos los *stakeholders*, como ya se ha indicado, y usando nuestra brújula ética en la toma de decisiones. Este deseo de mirar alrededor y ver lo que se puede hacer diferente no puede ser replicado por las máquinas [28].

Respecto de la atención a las personas y la empatía, la fuerza emocional es un diferenciador clave de los seres humanos, como indica el profesor Gil Aluja en el primer capítulo de esta obra. Las máquinas no pueden tener empatía real - por lo menos no todavía. Se puede crear inteligencia artificial que imite la empatía, pero estará carente de la energía que se genera mediante una conexión humana real. En la nueva era, las empresas necesitarán que las personas empleadas conecten con sus compañeras, con la clientela y con el resto de *stakeholders* en un nivel emocional para entender mejor sus más profundas necesidades y crear confianza en la relación [28] [77].

El último de los valores que consideramos en el aprendizaje permanente. La mayoría de las personas tiene una necesidad innata de aprender, crecer, desarrollarse y, con sus habilidades, hacer algo que marque la diferencia para el conjunto de la sociedad, y en el caso de la empresa, para la clientela. El aprendizaje permanente apoya esta necesidad. Los seres humanos pueden reflejar y sentir lo que sucedió en sus interacciones con otros seres humanos; pueden sentir que, para seguir siendo útiles y continuar desarrollándose como personas, necesitan seguir aprendiendo [28] [30].

Capacidades

Pasando a las capacidades, como ya se ha indicado, pasarán a tener mayor relevancia, incluso relevancia crítica, capacidades que ya son consideradas importantes en muchas organizaciones. Las más destacables en nuestra opinión serán capacidad de cooperación, creatividad e innovación y flexibilidad [13] [28] [38] [57] [71] [78].

Comenzando por la capacidad de cooperación, para gestionar los nuevos desafíos las empresas precisan de personas capaces de trabajar con una visión compartida y humildad, con el talento para generar confianza y ser gestoras multiculturales; personas directas y generosas, orientadas a la cooperación más que a la simple coordinación [9] [13]. Ello permite la difusión e intercambio de conocimientos en la organización, que como hemos señalado es un proceso crítico y el más relevante. Como indica el profesor Gil Aluja en el primer capítulo de esta obra, es la capacidad de cooperar, surgida de la capacidad del ser humano para crear realidades intersubjetivas, la que nos ha permitido progresar como especie, creando redes de razón y sentimiento cada vez más complejas; y entendemos que seguirá siendo la que permita progresar en el futuro, incluso “posthumano”.

La segunda capacidad relevante es la creatividad e innovación, que la automatización inteligente y la inteligencia artificial todavía están aprendiendo a imitar. Las personas podemos soñar, podemos sentir, podemos utilizar nuestra intuición para decidir qué camino tomar. En general, los sistemas de inteligencia artificial suelen ser recipientes pasivos, buenos para rastrear a través de datos en busca de correlaciones estadísticas; los seres humanos, sin embargo, pueden percibir las necesidades insatisfechas que podrían impulsar la innovación [28]. Las empresas, en todos los niveles de liderazgo, gestión e implementación de cambios, necesitarán personas que compartan valores de creatividad e innovación, de forma que puedan implicarse en los procesos de pensamiento estratégico [71]. Por tanto, debe facilitarse una cultura organiza-

cional que promueva en las personas la innovación y la creatividad, e incluso fomentarlas en las propias personas [79], pues éstas son esenciales a la hora de gestionar una empresa en el siglo XXI.

Pasando a la flexibilidad, ya hemos comentado cómo la flexibilidad organizacional es una capacidad empresarial especialmente relevante para afrontar los retos del nuevo entorno; pero esta no puede lograrse si las personas en la empresa, empleadas o directivas, no son flexibles a su vez [35].

Además, ya se ha indicado que la capacidad de aprendizaje organizacional constituye un antecedente de la innovación; ahora bien, ésta requiere flexibilidad en las personas. Por tanto, la flexibilidad de las personas empleadas, una capacidad dinámica definida como el grado en que estas poseen “las habilidades y repertorios conductuales que pueden proporcionar a una empresa opciones para buscar alternativas estratégicas” [78: 648], permite mejorar las elecciones estratégicas que pueden ser útiles en entornos turbulentos. Las personas flexibles, tanto en habilidades como en comportamiento, tienen ventaja en condiciones de alta turbulencia, pues contribuyen a generar alternativas estratégicas y, por tanto, a impulsar la innovación [38] [80].

Los comportamientos de las personas en la organización que impliquen actitudes positivas hacia el cambio, el aprendizaje y la asunción de riesgos pueden considerarse como indicadores de buen funcionamiento individual en entornos turbulentos. Hacer frente de forma eficaz a la turbulencia ambiental requiere gestión individual del cambio (afrontar el dinamismo), aprendizaje (afrontar la complejidad) y asumir riesgos (afrontar la incertidumbre) [38]. Precisamente por ello, en la literatura se considera que la flexibilidad individual abarca tres componentes: polivalencia, anticipación y adaptación.

En cuanto a la primera de ellas, debe tenerse en cuenta que una de las características principales de las personas flexibles es su capacidad

para llevar a cabo una amplia gama de tareas diferentes [81], lo cual se corresponde con el concepto de “polivalencia” (similar a la “flexibilidad funcional” o “versatilidad de la fuerza de trabajo”). Ello implica que las personas empleadas deben ser capaces de trabajar en diferentes tareas y en diversas circunstancias, reduciendo así los costes y el tiempo necesarios para movilizarlas en orden a llevar a cabo nuevas tareas, facilitando así los movimientos de personas entre puestos de trabajo y la asunción de responsabilidades en tareas múltiples. Este concepto de polivalencia, esencialmente dinámico, está particularmente ligado a la necesidad de impulsar las habilidades de las personas como un elemento clave de empleabilidad en un contexto de cambio continuo.

Los actuales –y futuros– contextos turbulentos vuelven obsoletas las vías tradicionales hacia la empleabilidad basadas en habilidades técnicas estrechas. La empleabilidad debe y deberá basarse en la capacidad de las personas para “aprender a aprender” y contribuir en modos que puedan diferir substancialmente de sus antecedentes y experiencias previas [38]. En el futuro resultará especialmente interesante el tipo de pericia individual que se relaciona con mayores niveles de capacidad y motivación para ampliar la gama de tareas y funciones diarias que puedan ser llevadas a cabo de forma eficaz [82].

Para mantener personas polivalentes, una política de formación adecuada resulta esencial. Debido a la rapidez con que cambian las habilidades y conocimientos requeridos para el desempeño de las tareas en la empresa, la formación se constituye en uno de los factores esenciales que contribuye a la generación de competencias clave y determina la eficacia de las acciones realizadas en las organizaciones. La relación entre formación y resultados empresariales está empíricamente consolidada [83]. Además, la formación en conocimientos genéricos producirá mejores resultados en la medida que las tecnologías sean más complejas y el entorno sea más complejo y dinámico, pues permitirá generar valiosas opciones de conocimiento [84]. Los gerentes deben ser conscientes

de que resulta necesario realizar fuertes inversiones al respecto. La formación es considerada como una de las prácticas que más significativamente se relaciona con el aprendizaje organizacional [54] [85]; además, estimula la adquisición y generación constante de nuevos conocimientos y habilidades, por lo tanto mejora el nivel de polivalencia [54] [85].

Educación, formación y aprendizaje permanente son vías muy importantes para preparar y retener personas en el futuro. Las propias personas deben ser conscientes de que su futuro tal vez ya no pueda consistir en una sola carrera, sino posiblemente en más de una [28], y además deben ser capaces de combinar sus habilidades y competencias para actuar sobre la realidad.

En cuanto a la anticipación, las personas son flexibles también cuando anticipan futuros requerimientos de nuevas habilidades y demuestran entusiasmo por detectar y aprender nuevos enfoques para realizar su trabajo, de forma que, en lugar de centrarse en su actual gama de competencias, son capaces de detectar nuevos requerimientos y aprender a realizar nuevas tareas rápidamente [81] [86]. Esta dimensión se refiere a autoiniciar comportamientos proactivos, e implica prepararse de manera personal y creativa para futuros cambios en los requisitos de trabajo, de forma que cuando éstos se produzcan no haya inconvenientes [82]. En contextos especialmente turbulentos e intensivos en conocimiento, las personas empleadas tienen la oportunidad de cumplir con los requerimientos laborales creando el futuro ellas mismas, en lugar de simplemente realizar tareas estándar [78] [80]. Estas organizaciones deben incluir a personas que piensen proactivamente y estén abiertas a nuevas ideas, porque esto implica la búsqueda de soluciones innovadoras con las que abordar problemas futuros [56]. Los principales factores que facilitan el desarrollo de estas características son: apertura a nuevas ideas y creatividad; resolución autónoma de problemas; aprendizaje continuo y cultura de experimentación; mejora de la vinculación con el entorno externo; y perspectiva de sistemas [57].

Por otra parte, un contexto organizacional favorable a la interacción con el entorno externo [57], aspecto particularmente importante en condiciones de alta turbulencia ambiental, fomentará en las personas empleadas comportamientos receptivos a la exploración de los cambios en el exterior.

La capacidad de anticipación en su forma básica no coincide con la de “adaptación”, que consideraremos a continuación, pero ciertamente exige prepararse de manera personal y creativa para futuros cambios de actividad [82].

Pasando, pues, a la “adaptación”, las personas flexibles se caracterizan también por comportamientos adaptativos que abarcan una gran variedad de repertorios conductuales [86]. Este tipo de personas busca encontrar nuevos “guiones” o secuencias de acciones, tanto para llevar a cabo sus actividades diarias como para hacer frente a nuevas situaciones [81] y son especialmente receptivas al cambio, comprendiendo cómo tomar ventaja del mismo [82]. Se concede así un mayor margen de maniobra al comportamiento no rutinario, a través del cual las personas modifican sus respuestas para adaptarse a las nuevas circunstancias, alejándose de patrones fijos de acción [86], ayudando así a lograr y mantener una ventaja competitiva en entornos turbulentos [80].

Un alto grado de capacidad de aprendizaje organizacional debe implicar que una empresa está abierta al cambio continuo. La eliminación de antiguos valores y creencias es fundamental para el proceso de aprendizaje. Por ello, deben implementarse prácticas organizacionales que ayuden a adquirir a las personas altos niveles de flexibilidad personal y capacidad de adaptación. La capacidad de aprendizaje apoya una cultura organizacional en la que tanto los individuos como los departamentos y áreas de la empresa tienen una visión clara de los objetivos de la organización y comprenden cómo pueden ayudar en su desarrollo. Esta integración de visiones, metas y entendimiento lleva a generar co-

nocimiento enraizado en las rutinas y la cultura organizacional. Todos estos factores, en forma de conciencia empresarial, ayudan a crear a empleados que puedan adaptarse a condiciones cambiantes [38].

La capacidad de aprendizaje organizacional influye en los tres componentes de la flexibilidad del empleado que hemos considerado, esto es, polivalencia, anticipación y adaptación. Esto resulta particularmente relevante en contextos intensivos en conocimiento y altamente turbulentos, en los que las personas muy posiblemente darán la bienvenida a nuevos desafíos y abrazarán la creatividad y las oportunidades para la polivalencia [80]. De hecho, en estas circunstancias, las personas empleadas pueden percibir que los altos niveles de flexibilidad experimentados son, en gran medida, el resultado de un ambiente de aprendizaje solidario. Por tanto, una cultura organizacional que apoya el aprendizaje ayuda también a crear flexibilidad en las personas [38].

Hacia un nuevo estilo de liderazgo

Para gestionar las actividades de personas con ética y responsabilidad social, capaces de crear significado, empáticas, en aprendizaje permanente, cooperativas, creativas e innovadoras, y flexibles, e incluso “mejoradas”, se necesita un nuevo estilo de liderazgo.

Lo que se necesita para que el liderazgo sea capaz de crear valor duradero en las organizaciones está cambiando considerablemente. En las nuevas circunstancias, el liderazgo empresarial debe ser capaz de conectar con un propósito más alto y de colocar la misión de la empresa por encima de todo, incluidos los logros y triunfos personales [28].

Conseguir que las personas manifiesten todo su potencial de valor en el nuevo entorno requiere, como ya se ha indicado, personas líderes que no solo busquen la flexibilidad en las personas empleadas, sino que sean también flexibles. La capacidad para el aprendizaje permanente, la adap-

tación y desafiar los propios modelos conceptuales y operativos de éxito muy posiblemente distinguirán a la próxima generación de líderes [13].

El estilo de liderazgo debe ser transformacional, interesado tanto en el individuo como en el equipo, con intención de capacitar a las personas para que puedan alcanzar su máximo potencial, para mejorar sus destrezas y habilidades y ganar confianza en sus talentos y valores únicos; consecuentemente, su influencia se consolida por su interés en las personas a las que sirve; hace grandes esfuerzos para comprender las capacidades, habilidades y necesidades de las personas y les ayudan a tener éxito en su situación particular. Este es el estilo de liderazgo que permite conectar con las personas para inspirarles cambios positivos, y por tanto es el adecuado para afrontar la cuarta revolución industrial [53].

En el nuevo entorno, las personas seguirán deseando crear valor en su trabajo. Por lo tanto, sus valores y capacidades, como ya se ha indicado, contribuirán a la creación de valor empresarial y social. El nuevo liderazgo necesita estimular a las personas, por diversas vías –económica, práctica, motivacional– para que continúen invirtiendo en sí mismas mediante la formación y la educación. Como ya se ha indicado, el aprendizaje permanente será aún más crucial de lo que ya es, por lo que las empresas deben responsabilizarse en el “viaje de aprendizaje” de sus empleados [28].

Las tres capacidades de liderazgo más críticas de cara al futuro serán [28]:

- Conocimiento de la tecnología con humanismo. En el futuro, las personas líderes necesitarán entender la tecnología lo suficientemente bien como para saber cómo puede apoyar a las personas, pero, para obtener el mejor valor de la tecnología, también deben ser capaces de hacer que los seres humanos lleguen ser más humanos. Esto es, deben no solo buscar y desarrollar la polivalencia en las personas, sino que deben ser también polivalentes, “políma-

tas”. Deben conseguir que las personas busquen desarrollar su imaginación y creatividad, y ser capaces de llevarlas hacia comportamientos responsables con la tecnología, para beneficio de ellas mismas y de su entorno.

- Fomento de la inteligencia sistémica. La habilidad para compartir el papel de liderazgo en los diferentes niveles de la organización se convertirá en esencial, especialmente para quienes trabajen directamente con actores claves, tales como personas empleadas, clientela, proveedores, autoridades gubernamentales y representantes sociales. En lugar de intentar controlar a estos agentes mediante decisiones desde arriba hacia abajo, procesos y jerarquía, se pueden lograr mejores resultados empoderándoles, dándoles responsabilidades de liderazgo y proporcionándoles la orientación, los recursos y la confianza que necesitan, de manera que puedan actuar más autónomamente y lograr mejores resultados, realizando su trabajo y aplicando sus conocimientos como estimen más adecuado, tanto a nivel estratégico como táctico y estructural. Esto es, el nuevo liderazgo implica capacidad de generar más liderazgo. Fomentar la inteligencia sistémica implica estimular la colaboración, crear una cultura que promueve la autonomía y fomentar la toma de decisiones basada en las aportaciones de diferentes *stakeholders*, tanto internos como externos a la organización [77].
- Construcción de confianza. En un entorno cambiante con equipos diversos y donde la tecnología es omnipresente, es imperativo para las personas líderes mostrar constantemente la autenticidad de sus pensamientos y acciones. Esto construye confianza y crea un ambiente en el que las personas se sienten respetadas y cómodas para tomar riesgos, aprender y desarrollarse. Las personas que ejerzan liderazgo deben desarrollar continuamente su autoconciencia y su curiosidad. Esto les permitirá llegar a saber lo que no saben, considerar e integrar perspectivas múltiples y ser conscientes de su im-

pacto sobre los ecosistemas. Deben aprovechar las fuentes internas de sabiduría para navegar a través de dilemas morales y éticos sobre protección de datos y propiedad intelectual, para entender si sus decisiones pueden mantenerse en un debate público.

El trato con las personas también requerirá cambios importantes en la gestión empresarial [30]:

- Reinención de la función de recursos humanos: se requiere considerar la adaptación proactiva al nuevo paisaje de talento, lo cual implica gestionar la posible disrupción de habilidades debido a los cambios tecnológicos. Por tanto, debe surgir una nueva función de recursos humanos, de carácter más estratégico, que emplee nuevos tipos de herramientas analíticas para detectar tendencias de talento y nuevas necesidades de habilidades, y que proporcione ideas que puedan ayudar a las organizaciones a alinear su negocio, así como estrategias de gestión de la innovación y talento, de forma que se maximicen las oportunidades disponibles para aprovechar las tendencias de transformación.
- Diversidad de talento: como demuestran múltiples estudios, los beneficios para las empresas de la diversidad de la fuerza de trabajo son evidentes; por otra parte, muy posiblemente sea difícil para las empresas en el futuro encontrar talento en muchas funciones clave especializadas; por ello, es el momento para un cambio fundamental en cómo abordar los aspectos relativos a la diversidad de talento y las barreras percibidas al mismo.
- Colaboración intersectorial y público-privada: dada la complejidad de la necesaria gestión del cambio, las empresas tendrán que ser conscientes de que colaborar en temas de talento, en lugar de competir, ya no es solo conveniente, sino absolutamente necesario. Las alianzas y la colaboración multisectoriales, cuando permi-

ten potenciar la pericia de cada una de las partes en forma complementaria, son componentes imprescindibles para la implementación de soluciones escalables a los desafíos que presentan las nuevas habilidades y ocupaciones. Hay así una necesidad de liderazgos y acciones estratégicas más audaces al respecto, tanto en las empresas y en los sectores e intersectoriales, incluyendo la asociación con entidades públicas y con el sector educativo.

Conclusiones

Si, a lo largo de la geografía y la historia, el entorno de las empresas no ha tendido con frecuencia a la estabilidad, sino más bien a la turbulencia, en la actualidad, y en el futuro concebible, esta se incrementará, debido principalmente, aunque no de forma exclusiva, a dos fuerzas interrelacionadas: el espectacular desarrollo tecnológico, que ya está dando lugar a la “Cuarta Revolución Industrial “ o “Industria 4.0”, y la “Tercera Ola de la Globalización”, en la que el desarrollo tecnológico, y por tanto las posibilidades de innovación disruptiva, se han multipolarizado: nuevas tecnologías con potencial disruptivo pueden aparecer en cualquier momento y casi en cualquier lugar.

A ello debe añadirse un elemento decisivo: por primera vez, las nuevas tecnologías pueden cambiar, no solo la forma en que las personas hacen cosas, sino a las propias personas, dando lugar a seres humanos “mejorados” tanto física como mentalmente, de forma que tal vez incluso cuestione la propia naturaleza humana. En cualquier caso, la interacción entre las personas y los sistemas artificiales inteligentes de todo tipo será cada vez más intensa, dentro y fuera de las empresas.

Todo ello configura un entorno cada vez más complejo, en el que la frecuencia de los cambios será mayor, y la incertidumbre predominará.

¿Cómo pueden afrontar las empresas estas nuevas condiciones? Evidentemente, deben estar atentas a los desarrollos tecnológicos emer-

gentes, y cómo estos pueden afectar a su modelo de negocio actual. Deben asimismo colocar la innovación en el centro de la estrategia. Consecuentemente, deben estar dispuestas a migrar hacia otros sectores de actividad y modelos de negocio, en cooperación con sus grupos de interés: personas empleadas, clientela, proveedores, etc.

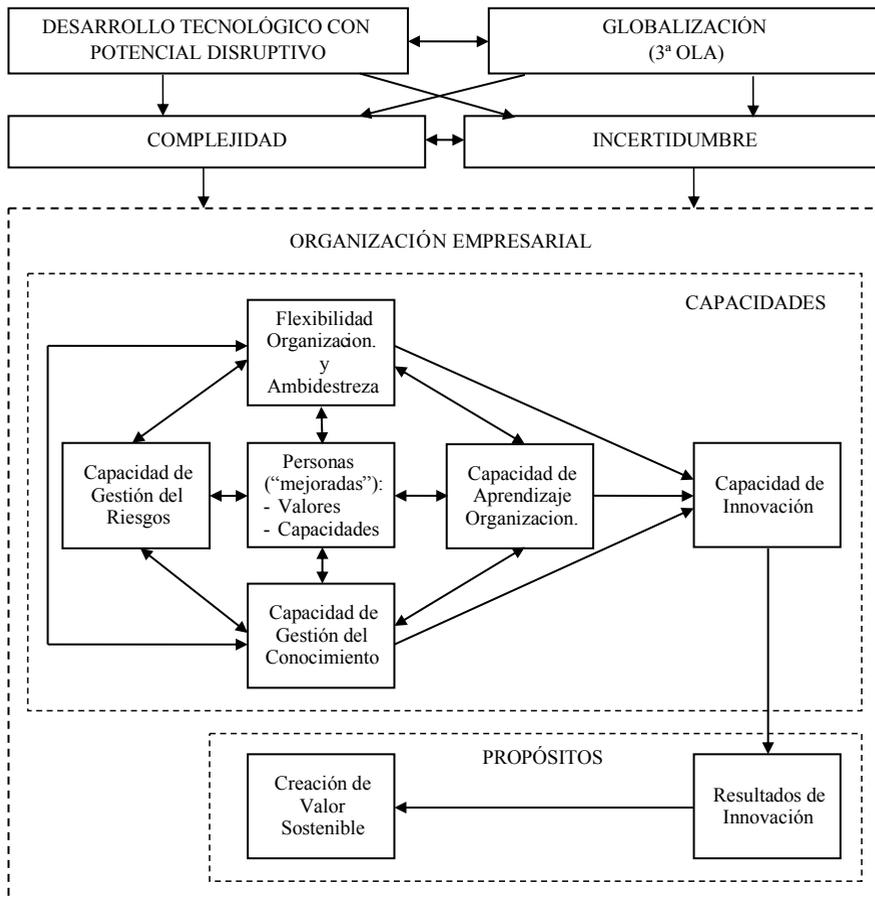


Figura 1. Desafíos del entorno y respuesta empresarial.

Valor de las personas.

Fuente: elaboración propia.

Un importante aspecto a resolver es el de la interrelación persona-máquina. Sistemas artificiales inteligentes sustituirán actividades, físicas e intelectuales, de tipo rutinario, hasta ahora realizadas por seres humanos. Pero también surgirán nuevas necesidades de personas con habilidades específicas para tratar y desenvolverse en el entorno de interacción con tales sistemas. Nuevos conocimientos, valores y capacidades, junto con el desarrollo de los ya valiosos en la actualidad, requerirán la colaboración con las autoridades públicas para diseñar e implementar programas de aprendizaje efectivos al respecto.

Por tanto, las personas, “mejoradas” o no, serán, no menos, sino más importantes. La revolución tecnológica necesita de empresas no menos, sino más humanas, más atentas a los intereses, perspectivas y aspiraciones de todas las personas en la organización, con un liderazgo transformacional, en lo que venimos denominando “nuevo humanismo empresarial”.

Por ello, entendemos que las personas deberán ocupar ineludiblemente el centro de la actividad empresarial, como se refleja en la figura 1. A partir de ellas, de sus valores y capacidades, las empresas necesitarán construir o desarrollar las capacidades interrelacionadas básicas para desenvolverse en el nuevo entorno: capacidad de gestión de riesgos, capacidad de gestión del conocimiento, flexibilidad y ambidestrezza. Estas últimas se vinculan, de forma directa e indirecta, junto, evidentemente, con la acción de las personas, a la capacidad de aprendizaje organizacional y la capacidad de innovación, lo cual permitirá alcanzar los propósitos básicos: innovación en sus resultados, y creación de valor sostenible, tanto en el aspecto económico como en el social y medioambiental.

Las organizaciones empresariales, a lo largo de las historia, han conseguido adaptarse a las cambiantes circunstancias tecnológicas, económicas, sociales y políticas. En el nuevo entorno hipertecnológico,

muchas lo conseguirán también, pero, aunque pueda parecer paradójico, únicamente si llegan a ser no menos, sino más, humanas.

Referencias

- [1] Gil-Aluja, J. (2014). El mundo en el que es imposible volver atrás. En *Revolución, Evolución e Involución en el futuro de los Sistemas Sociales* (pp. 15-20). Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona.
- [2] Berger-Vachon, C., Lafuente, A. M. G., Kacprzyk, J., Kondratenko, Y., Merigó, J. M., & Morabito, C. F. (Eds.). (2017). *Complex Systems: Solutions and Challenges in Economics, Management and Engineering: Dedicated to Professor Jaime Gil Aluja* (Vol. 125). Springer, Cham (Switz.).
- [3] Taleb, N. N. (2007). *The black swan: The impact of the highly improbable*. Random House, New York, NY.
- [4] Taleb, N. N. (2012). *Antifragile: Things that gain from disorder*. Random House Incorporated, New York, NY.
- [5] Aguer-Hortal, M. (2016). New horizons in the evolution of economic science. En *¿Hacia dónde va la ciencia económica?* (pp. 45-59). Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona.
- [6] Marino, D. (2015). Rethinking Economics: Complexity and Dynamics. En *Ciencia y realidades económicas: reto del mundo post-crisis a la actividad investigadora* (pp. 145-180). Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona.
- [7] Poch-Torres, S. (2015). Reflexiones sobre riesgos e incertidumbres en el nuevo paradigma empresarial. En *Anales del Curso Académico 2014-2015* (pp. 83-87). Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona.
- [8] Rodríguez-Castellanos, A. (2017). ¿Un mundo más incierto? Consecuencias para la gestión de riesgos. Instituto de Economía Aplicada a la Empresa de la Universidad del País Vasco, Bilbao, 05/12/2017. <https://www.ehu.es/ehusfera/enpresa-institutua/2017/12/05/un-mundo-mas-incierto-consecuencias-para-la-gestion-de-riesgos/#more-1244>. Acceso el 02/02/2018.

- [9] Ugarte, J. (2017). La tercera ola de la globalización. Instituto de Economía Aplicada a la Empresa de la Universidad del País Vasco, Bilbao, 13/11/2017. <http://www.ehu.es/ehusfera/empresa-institutua/2017/11/13/la-tercera-ola-de-la-globalizacion-por-josu-ugarte/>. Acceso el 17/01/2018.
- [10] Roblek, V., Erenda, I., & Meško, M. (2018). The Challenges of Sustainable Business Development in the Post-Industrial Society in the First Half of the 21st Century. En *Managerial Strategies for Business Sustainability during Turbulent Times* (pp. 1-22). IGI Global, Hershey, PE.
- [11] Varanasi, R. P. (2018). Enterprise Agility in Today's Era of Complexity. En *Improving Business Performance through Effective Managerial Training Initiatives* (pp. 1-16). IGI Global, Hershey, PE.
- [12] Zhalilo, Y. (2018). Institutional Background of Effective Strategies for Business Sustainability. En *Managerial Strategies for Business Sustainability during Turbulent Times* (pp. 23-39). IGI Global, Hershey, PE.
- [13] Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Crown Business, New York, NY.
- [14] Brunet-Thornton, R., & Martínez, F. (Eds.) (2018). *Analyzing the Impacts of Industry 4.0 in Modern Business Environments*. IGI global, Hershey, PE.
- [15] BMI (2018). Eight Key Tech Trends: Ranking Future Impacts by Sector. *BMI View*, January 19. En: <https://www.bmiresearch.com/articles/eight-key-tech-trends-ranking-future-impacts-by-sector>. Acceso el 10/02/2018.
- [16] Abidi, S., & Joshi, M. (2015). *The VUCA Company*. Jaico Publishing House, Mumbai (India).
- [17] Sirmon, D. G., Hitt, M., & Ireland, R. D. (2007). Managing firm resources in dynamic environments to create value: Looking inside the black box. *Academy of Management Review*, 32(1), 273-292.
- [18] Schilke, O. (2014). On the contingent value of dynamic capabilities for competitive advantage: The nonlinear moderating effect of environmental dynamism. *Strategic Management Journal*, 35(2), 179-203.
- [19] Gil-Aluja, J. (2015). Algunas reflexiones sobre el futuro de la investigación económica. En *Anales del Curso Académico 2014-2015* (pp. 67-82). Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona.

- [20] Rodríguez-Castellanos, A. (2015). *Las personas, fuente de innovación y de creación de valor en la empresa*. Publicaciones de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, Barcelona.
- [21] Chesbrough, H. W. (2003). The era of the open innovation. *MIT Sloan Management Review*, 44(3), 35-41.
- [22] San-Martín-Albizuri, N., & Rodríguez-Castellanos, A. (2012). Un marco conceptual para los procesos de innovación abierta: integración, difusión y cooperación en el conocimiento. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 14(1), 83-101.
- [23] Leon, R.-D. (Ed.) (2018). *Managerial Strategies for Business Sustainability during Turbulent Times*. IGI global, Hershey, PE.
- [24] Hallward-Driemeier, M., & Nayyar, G. (2018). *Trouble in the Making? The Future of Manufacturing-Led Development*. The World Bank, Washington, DC.
- [25] Harari, Y. N. (2016). *Homo Deus. A Brief History of Tomorrow*. Harvill Secker, London.
- [26] Bostrom, N. (2005). A History of Transhumanist Thought. *Journal of Evolution and Technology*, 14(1), 1-25.
- [27] Casas Salinas, M. (2017). *El fin del Homo sapiens: la naturaleza y el transhumanismo*. Ápeiron, Madrid.
- [28] Velthuisen, J. W., Van Tol, W., & Hagen, A. (2017). *Human value in the digital age*. PwC. En: <https://www.pwc.nl/nl/assets/documents/pwc-human-value-in-the-digital-age.pdf>. Acceso el 29/03/2017.
- [29] Malone, T. W. (2018). *Superminds: The Surprising Power of People and Computers Thinking Together*. Little, Brown and Company, New York, NY.
- [30] World Economic Forum. (2016). *The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*. World Economic Forum, Geneva (Switz.).
- [31] Frey, C. B., & Osborne, M. (2017). The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114(C), 254-280.
- [32] Hawkswoth, J., Berriman, R., & Goel, S. (2018). *Will robots really steal our jobs? An international analysis of the potential long term impact of*

- automation*. PwC. En: <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/international-impact-of-automation-feb-2018.pdf>. Acceso el 29/03/2018.
- [33] Gil Aluja, J. (2004). *Fuzzy Sets in the Management of Uncertainty*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- [34] Benner, M., & Tushman, M. (2003). Exploitation, Exploration, And Process Management: The Productivity Dilemma Revisited. *The Academy of Management Review* 28(2), 238-256.
- [35] Sopelana-Gato, A. (2016). *Influences of Change Strategies to Achieve Organizational Flexibility*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco, Bilbao.
- [36] Ramamurti, R. (2012). Competing with emerging market multinationals. *Business Horizons*, 55(3), 241-249.
- [37] Liu, H., Jiang, X., Zhang, J., & Zhao, X. (2013). Strategic flexibility and international venturing by emerging market firms: The moderating effects of institutional and relational factors. *Journal of International Marketing*, 21(2), 79-98.
- [38] Camps, J., Oltra, V., Aldás-Manzano, J., Buenaventura-Vera, G., & Torres-Carballo, F. (2016). Individual performance in turbulent environments: The role of organizational learning capability and employee flexibility. *Human Resource Management*, 55(3), 363-383.
- [39] Kamasak, R., Yavuz, M., & Altuntas, G. (2016). Is the relationship between innovation performance and knowledge management contingent on environmental dynamism and learning capability? Evidence from a turbulent market. *Business Research*, 9(2), 229-253.
- [40] Aljanabi, A., & Kumar, D. (2012). Knowledge Sharing and Its Impact on Innovation Performance: A case study of Teaching Quality Assurance Program. *The International Journal's Research Journal of Commerce & Behavioural Science*, 2(2), 14-23.
- [41] Pai, F-Y., & Chang, H-F. (2013). The effects of knowledge sharing and absorption on organizational innovation performance - A dynamic capabilities perspective. *Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management*, 8, 83-97.
- [42] Muckersie, E. (2016). Incremental, breakthrough and radical innovation: deciphering the differences. *Freshminds*, 29 July. En: <http://www.fresh->

- minds.net/2016/07/innovation-defining-incremental-breakthrough-and-radical/. Acceso el 10/03/2018.
- [43] Christensen, C. M., Raynor, M. E., & McDonald, R. (2015). What is disruptive innovation? *Harvard Business Review*, 93(12), 44-53.
- [44] Tanriverdi, H. (2005). Information technology relatedness, knowledge management capability, and performance of multi-business firms. *MIS Quarterly*, 29(2), 311-334.
- [45] Yayavaram, S., & Chen, W. R. (2015). Changes in firm knowledge couplings and firm innovation performance: The moderating role of technological complexity. *Strategic Management Journal*, 36(3), 377-396.
- [46] Volberda, H. (1998). *Building the flexible firm: How to remain competitive*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- [47] Lund, R. (1998). Organizational and Innovative Flexibility Mechanisms and their Impact upon Organizational Effectiveness. *DRUID Working Papers* 98-23, DRUID, Copenhagen Business School.
- [48] Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review*, 27(2), 185-203.
- [49] Rodríguez-Castellanos, A (Dir.) (2006). *Capacidad empresarial para la absorción de resultados de I+D: un enfoque de conocimiento. Principios, análisis empíricos y directrices de autoevaluación*, Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao.
- [50] Rodríguez-Castellanos, A., Hagemester, M., & Rangelov, S. Y. (2010). Absorptive Capacity for R&D: The Identification of Different Firm Profiles. *European Planning Studies*, 18(8), 1.267-1.283.
- [51] March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization Science*, 2(1), 71-87.
- [52] Tushman, M., & O'Reilly, C. (1996). The ambidextrous organization. *California Management Review*, 38(4), 8-30.
- [53] Noruzy, A., Dalfard, V. M., Azhdari, B., Nazari-Shirkouhi, S., & Rezazadeh, A. (2013). Relations between transformational leadership, organizational learning, knowledge management, organizational innovation, and organizational performance: an empirical investigation of manufacturing

- firms. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64(5-8), 1073-1085.
- [53] Edwards, M. G. (2009). An integrative metatheory for organizational learning and sustainability in turbulent times. *The Learning Organization*, 16(3), 189-207.
- [54] DiBella, A., Nevis, E., & Gould, J. (1996). Organizational learning style as a core capability. En *Organizational learning and competitive advantage* (pp. 38-55). Sage, London.
- [55] Nonaka, I. (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization Science*, 5(1), 14-37.
- [56] Jerez-Gómez, P., Céspedes-Lorente, J. J., & Valle-Cabrera, R. (2005a). Organizational learning capability: A proposal of measurement. *Journal of Business Research*, 58(6), 715-725.
- [57] Chiva, R., Alegre, J., & Lapiedra, R. (2007). Measuring organisational learning capability among the workforce. *International Journal of Manpower*, 28(3/4), 224-242.
- [58] Alegre, J., & Chiva, R. (2013). Linking entrepreneurial orientation and firm performance: The role of organizational learning capability and innovation performance. *Journal of Small Business Management*, 51(4), 491-507.
- [59] Wu, I. L., & Chen, J. L. (2014). Knowledge management driven firm performance: The roles of business process capabilities and organizational learning. *Journal of Knowledge Management*, 18(6), 1141-1164.
- [60] Khosrow-Pour, M. (Ed.) (2018): *Risk and Contingency Management: Breakthroughs in Research and Practice*. IGI Global, Hershey, PE.
- [61] Vizuite-Luciano, E., Gil-Lafuente, A. M., García-González, A., & Boria-Reverter, S. (2013) Forgotten effects of corporate social and environmental responsibility: A case study of Catalanian economy. *Kybernetes*, 42(5), 736-753.
- [62] BCG, & Warton @ Knowledge (2016). Flexibility in the Face of Disaster: Managing the Risk of Supply Chain Disruption. En: *Special Report. Creating the Optimal Supply Chain*. Boston Consulting Group y Warton School, Philadelphia, PE.

- [63] Ologbo, A., Md Nor, Kh., & Okyere-Kwakye, E. (2015). The Influence of Knowledge Sharing on Employee Innovation Capabilities. *International Journal of Human Resource Studies*, 5(3), 102-110.
- [64] Abu-Shanab, E., Haddad, M., & Knight, M. (2014). Knowledge Sharing Practices and the Learning Organization: A Study. *The IUP Journal of Knowledge Management*, 12(2), 38-50.
- [65] Kushwaha, P., & Rao, M. K. (2017). Integrating the Linkages between Learning Systems and Knowledge Process: An Exploration of Learning Outcomes. *Business Perspectives and Research*, 5(1), 11-23.
- [66] Marshall, C., Prusak, L., & Shpilberg, D. (1996). Financial risk and the need for superior knowledge management. *California Management Review*, 38(3), 77-101.
- [67] Chaya, R. (2014). Role of Knowledge Management to bring Creativity and Innovation. *Sri Shivalingeshwara Govt. First Grade College International Conference*, held on 06th May (pp. 1-9), Channagiri (Karnataka - India).
- [68] Qiu, X., Yan, X., & Lv, Y. (2015). The Effect of Psychological Capital and Knowledge Sharing on Innovation Performance for Professional Technical Employees. *Journal of Service Science and Management*, 8(4), 545-551.
- [69] Al-Husseini, S., Elbeltagi, I., & Dosa, T. (2015). Knowledge Sharing processes as critical enablers for process innovation. *International Journal of Culture and History*, 1(1), 33-38.
- [70] Martins, A., Martins, I., & Petiz-Pereira, O. (2018). Learning-Performance Relationship: A New Holistic, Dynamic, and Strategic Organizational Approach. En *Improving Business Performance through Effective Managerial Training Initiatives* (pp. 46-68). IGI Global, Hershey, PE.
- [71] Delgado-Verde, M., Martín-de Castro, G., & Amores-Salvadó, J. (2016). Intellectual capital and radical innovation: Exploring the quadratic effects in technology-based manufacturing firms. *Technovation*, 54, 35-47.
- [72] López de Mántaras, R. (2018). Máquinas listas, pero sin sentido común. *EL PAÍS - Ideas*, 18/03/2018, 4.
- [73] Johanson, U. (2005). A Human Resource perspective on Intellectual Capital. En *Perspectives on Intellectual Capital. Multidisciplinary insights*

- into management, measurement and reporting* (pp. 96-105). Butterworth Heinemann, Oxford.
- [75] García-Zambrano, L. (2016). *Intangible resources, competencies and business results: Evidences for Basque and Spanish companies*. Tesis Doctoral, Universidad del País Vasco, Bilbao.
- [76] Hsu, Y.-H., & Fang, W. (2009). Intellectual capital and new product development performance: The mediating role of organizational learning capability. *Technological Forecasting & Social Change*, 76(5), 664-677.
- [77] Gray, B., & Purdy, J. M. (2018). *Collaborating for Our Future: Confronting Complex Problems through Multi-Stakeholder Partnerships*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- [78] Beltrán-Martín, I., & Roca-Puig, V. (2013). Promoting employee flexibility through HR practices. *Human Resource Management*, 52(5), 645-674.
- [79] Blake, S., & Burkett, C. M. (2018). *Creativity in Workforce Development and Innovation: Emerging Research and Opportunities*. IGI Global, Hershey, PE.
- [80] Ketkar, S., & Sett, P. K. (2010). Environmental dynamism, human resource flexibility, and firm performance: Analysis of a multi-level causal model. *International Journal of Human Resource Management*, 21(8), 1173-1206.
- [81] Wright, P. M., & Snell, S. A. (1998). Toward a unifying framework for exploring fit and flexibility in strategic human resource management. *Academy of Management Review*, 23(4), 756-772.
- [82] Van der Heijde, C. M., & Van der Heijden, B. (2006). A competence-based and multidimensional operationalization and measurement of employability. *Human Resource Management*, 45(3), 449-460.
- [83] García-Zambrano, L., Rodríguez-Castellanos, A., & García-Merino, J. D. (2018). Impact of investments in training and advertising on the market value relevance of a company's intangibles: The effect of the economic crisis in Spain. *European Research on Management and Business Economics*, 24(1), 27-32.
- [84] Hagemeister, M., & Rodríguez-Castellanos, A. (2019): Knowledge acquisition, training, and the firm's performance: A theoretical model of the role of knowledge integration and knowledge options. *European Re-*

search on Management and Business Economics, <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2019.02.003>.

- [85] Jerez-Gómez, P., Céspedes-Lorente, J. J., & Valle-Cabrera, R. (2004). Training practices and organisational learning capability: Relationship and implications. *Journal of European Industrial Training*, 28(2/3/4), 234-256.
- [86] Bhattacharya, M., Gibson, D. E., & Doty, D. H. (2005). The effects of flexibility in employee skills, employee behaviors, and HR practices on firm performance. *Journal of Management*, 31(4), 622-640.

**LA *EMPRESA-RIESGO*: DEL (POS)MODERNISMO
AL (TRANS)HUMANISMO**

DR. RAMÓN POCH TORRES

**Académico de Número de la Real Academia de Ciencias Económicas
y Financieras**

pochtorres@telefonica.net

Resumen

A diferencia de lo que acontecía en épocas pasadas, en la actualidad la actividad general y muy especialmente la referida al ámbito empresarial, se caracteriza por unos cambios sin precedente alguno en toda la historia de la humanidad, de modo que los sistemas sociales se encuentran en permanente mutabilidad situando a los problemas de gestión en el campo del riesgo y la incertidumbre: la empresa-riesgo.

La sociedad actual es demasiado compleja para interpretarla mediante pensamientos mecanicistas y depende de nosotros el aplicar las herramientas estratégicas de los nuevos modelos, tecnologías y escenarios, a fin de avanzar hacia nuevas formas inteligentes de gestión empresarial, que superen los conceptos de clasicismo, modernidad, posmodernidad o deconstrucción y considerando las nuevas, y potencialmente peligrosas, propuestas filosóficas del poshumanismo y transhumanismo.

Analizamos, a modo de referencia, la evolución del *management* para focalizar las bases de una gestión empresarial para los próximos treinta años, aunque somos conscientes de que nos hallamos inmersos en un mundo de cambios profundos y rápidos, construido por contradicciones, de una sociedad simple a una sociedad compleja, en la que hay muchos futuros, en direcciones que difícilmente podemos predeterminar pero estamos obligados a abrir caminos para llegar a anticipar un futuro más o menos lejano.

Palabras clave: Riesgo, incertidumbre, gestión empresarial, posmodernismo, poshumanismo, transhumanismo.

Abstract

Unlike what happened in the past, nowadays general activity and especially the business sector, is characterized by unprecedented changes throughout the history of humankind, so that social systems are in permanent mutabil-

ity situating the management problems in the field of risk and uncertainty: Enterprise risk management.

Current society is too complex to be understood through mechanistic conceptions and it is up to us to apply the strategic tools of new models, technologies and scenarios, in order evolve towards new intelligent forms of business management that overcome concepts of classicism, modernity, postmodernity or deconstruction, taking in consideration new and potentially dangerous philosophical proposals of posthumanism and transhumanism.

Management evolution is analyzed to focus fundamentals of a business management prospective for the next thirty years, although we are aware that we are immersed in a world of deep and fast changes, built by contradictions, from a simple society to a complex one, in which there are many futures, in directions that we can hardly predetermine but we are obliged to open ways to some next future.

Keywords: Risk, Uncertainty, Management, Postmodernism, Transhumanism, Posthumanism.

Introducción

Parodiando a Ulrich Beck (*La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*) que definió a la sociedad actual como la Sociedad del Riesgo, (otros sociólogos la definen como la “sociedad del miedo” o “la sociedad de la inseguridad sentida”), nosotros podemos definir a la empresa del futuro como *empresa-riesgo*, porque en este nuevo orden mundial sólo sobrevivirán las empresas que tengan cultura del riesgo y sepan controlarlo y gestionarlo (identificar, evaluar, mitigar y monitorear) utilizando los flujos de información de los sistemas, sea inteligencia biológica o artificial, del cerebro o del ordenador. [1]

La idea de riesgo es producto de la sociedad moderna. Las antiguas civilizaciones utilizaban para hacer frente a las incertidumbres, riesgos y ame-

nazas, las plegarias, oráculos (como el de Delfos), procurando contentar a los dioses con los medios idóneos en cada momento y no contemplando los daños causados por errores humanos como responsabilidad personal.

La cultura occidental, desde su cuna en Creta, pasando por el paradigma newtoniano del racionalismo causa-efecto, se ha sentado en la idea de las leyes de la naturaleza que conducen a estructuras situadas en ambientes de certeza.

Para I. Prigogine (Premio Nobel de Química 1977 por su contribución al desequilibrio termodinámico y la teoría de los procesos irreversibles) en *El fin de las certidumbres* [2] las estructuras económicas se hallan formadas por un complejo entramado resultado de la “acción de los agentes sociales, del propio devenir de acontecimientos y de acciones que proceden del exterior del propio sistema” y por ello sabemos que si desde el exterior se perturba un sistema de funcionamiento (empresa p.e.), llevándolo lejos del equilibrio, entra en una situación de inestabilidad con nuevos fenómenos alejados de los comportamientos originarios. Es evidente que estas figuras más complejas no pueden ser gestionadas por acciones mecanicistas. En la actualidad la actividad en general y muy especialmente en el ámbito empresarial se caracteriza por unos cambios sociales y económicos extraordinariamente profundos y rápidos, que no han tenido precedente alguno en toda la historia de la humanidad.

Ya nadie puede formular *leyes inmutables* e incluso la lógica pasa a ser borrosa, por lo que las decisiones no tienen que depender de opciones alternativas, sino probabilísticas, es la filosofía de la deconstrucción del francés postestructuralista Jacques Derrida, que significa la ruptura de la idea evolucionista con respecto a la mecanicista

La actividad empresarial tal como la hemos conocido hasta ahora no tiene la posibilidad de sobrevivir siendo preciso asumir los cambios inevitables e irreversibles que se producirán y por lo tanto las nuevas fór-

mulas de gestión de la segunda mitad del siglo XXI deberán evolucionar a sistemas abiertos como las nuevas formas organizativas *inteligentes*, propias del pensamiento sistémico como la complejidad, la mutabilidad, la turbulencia y el caos y en la que tendrá entidad propia la gestión de los riesgos, de las incertidumbres o de las expectativas racionales.

De las pirámides tayloristas al posmodernismo

Génesis del *management*

Los cambios operados en las estructuras empresariales de los últimos 50 años han sido fruto de la búsqueda de soluciones para un mundo globalizado regido por la mutabilidad como nuevas formas de comprender el *management* empresarial. Esta idea está construida sobre la metáfora mecanicista o la teoría de los recursos de Gary Hamel, quien en 2007 publica (*The Future of Management*), uno de los principales ensayos que marcarán el futuro de la gestión empresarial en el siglo XXI. Se trata de una revolución en la gestión (de la gestión de la innovación a la innovación en la gestión) que impacta en la planificación estratégica, la gestión de proyectos, la selección y promoción, la gestión de riesgos, la formación y el desarrollo, la comunicación y la gestión del conocimiento y su evaluación. [3]

Según esta interpretación, somos testigos de un cambio sustancial: de la física newtoniana a la física cuántica; “de la geometría plana a la geometría euclídea; del estudio tradicional de los fenómenos regulares a la observación de los mismos a través de la incertidumbre y de la teoría del caos, etc...” (*Bohm's alternative to quantum mechanic*, de D.Z. Albert) [4]. Es decir, las estructuras sociales y empresariales están en permanente evolución y, paralelamente, en permanente disolución: tienen identidad propia y se encuentran inevitablemente presentes en nuestras vidas.

Los momentos históricos del *management* en el mundo de la economía tienen un origen remoto en Stuart Mill que cambió las bases de

las escuelas clásicas en las instituciones, bajo el principio normativo de la optimización de la utilidad individual y social: la nueva escuela del utilitarismo (*Los principios de Economía Política*, 1848). Esta obra introduce principios del *estado de bienestar* y de facto rompe con las bases de la escuela clásica y la ortodoxia ricardiana [5]. De este modo, permite una evolución histórica hasta la perspectiva paradigmática del posmodernismo, que están viviendo hoy nuestras empresas.

La ciencia de la gestión empresarial se inicia, para muchos autores con los que coincidimos, en 1938 con *The Functions of the Executive* de Chester Barnard, el primer gran clásico de la gestión empresarial [6] y sigue con Peter F. Drucker considerado el padre del *management* moderno que le ha valido el acceso a la categoría superior de los *gurús* como divulgador de una nueva filosofía interpretativa de la cada vez más compleja realidad social. En 1954 publica *The Practice of Management*, donde habla ya de la dirección por objetivos [7], y en *The society of organizations* recoge una actualización de su pensamiento en la gestión empresarial para que las organizaciones dejasen de pensar a corto plazo frente a una visión estratégica de futuro [8]. Drucker apostó en 1999 (*Post capitalist society*) por la *economía del conocimiento*, considerando que la empresa ha de estar organizada para la innovación y que ésta es la *destrucción creativa* [9].

Henry Mintzberg publica en 1973 *The Nature of Managerial Work* [10] y, años más tarde, otro clásico del *management* con el título *Mintzberg on Management* [11]; la dualidad esencial de Michael E. Porter en 1980 [12], Gary Hamel, Peter Senge (La Quinta Disciplina) [13], Ishikawa [14] y un largo etcétera constituirán las figuras cumbre que más han influido en el desarrollo de las teorías sobre gestión empresarial.

El liderazgo de la empresa en la primera mitad del siglo XXI será descentralizado y según David Boje [15] “estará condicionado y, en muchos casos, dependerá de aspectos culturales, históricos, políticos y

sociales del entorno geo-económico en que se desarrollen”. El mismo autor, en *Managing in the postmodern world* [16], reinterpreta los 14 principios propuestos por Fayol, padre de la organización científica del trabajo y en su nuevo enfoque convierte la gestión jerarquizada y piramidal de éste, en una estructura plana, descentralizada y con pocos estratos flexibles.

La inmensa mayoría de autores coinciden en que los sistemas empresariales de la segunda mitad del siglo XXI nos proporcionarán innovaciones empresariales que hoy ni siquiera vislumbramos y estarán basadas en la mutabilidad y la incertidumbre. Se pasará del control a la libertad, de la jerarquía a la comunidad, de la imposición al propósito. Por ello, el planteamiento de nuevas estructuras forma parte de las diferentes corrientes del movimiento posmoderno que son las que avalan nuestro pensamiento.

El posmodernismo en la empresa

El concepto posmoderno es un concepto abstracto, detrás del cual existe una visión ideológica que implica una aceptación de cambio, desde la perspectiva del mundo de cultura occidental. Se involucra, específicamente, un mundo globalizado donde la tecnología juega un papel preponderante. Lo posmoderno surge como un después de lo moderno, una época en la que es necesario replantear el saber y las formas de acción que habían sido efectivas en tiempos pasados.

Para el sociólogo, Manuel Castells (*La era de la información, economía, sociedad y cultura*) [17] “si la modernidad significa rebelión, en el sentido de que potencia la conciencia del individuo, la posmodernidad representa coerción en la labor, ante la nueva tecnología, sistemas sociales en la super-explotación de una fuerza de trabajo flexible y creciente a medida que el capital se orienta a las actividades más rentables de la economía, los circuitos financieros clave y la alta tecnología”.

V. Sisto en *Teoría(s) Organizacional(es) Postmoderna(s)* y la *Gest(ac)ión del Sujeto Postmoderno* [18] hace un recorrido del contexto social en las últimas décadas de la sociedad posmoderna, sintetizando los trabajos de destacados investigadores que analizan los acontecimientos que están transformando el paisaje social de la vida empresarial (revolución tecnológica, economías interdependientes a escala global, desaparición del movimiento comunista internacional, reestructuración del capitalismo, desregulación de los mercados, diversificación/desintegración del Tercer Mundo, etc.), para proponer una transformación radical de las tecnologías y de los modelos de gestión empresarial precedentes.

Así autores como Zygmunt Bauman, sociólogo y uno de los padres de la teoría de la modernidad líquida (*Modernidad Líquida y Miedo líquido: la sociedad contemporánea y sus temores*) [19] considera que la teoría social se acerca al hecho social, aceptando nuevas terminologías conceptuales como *modernidad tardía* con expresiones como la *sociedad red de Manuel Castells* [20], *sociedad de flujos*, *sociedad relacional*, *modernidad líquida*, *capitalismo cognitivo*, etc. Estos nuevos conceptos acaparan los debates sociológicos, en el escenario actual en el que la empresa debe ofrecer en cada instante una enorme capacidad de adaptación a situaciones provisionales y cambiantes.

La posmodernidad aparece como una nueva lógica del conocimiento y como una propuesta abierta al futuro y se inserta en el entorno de las TIC's, de la sociedad posindustrial, de la alta tecnología y del desarrollo económico basado en la implementación del neoliberalismo, como eje conductor de la acción social y humanística y con un cambio continuo en el entorno económico-empresarial, por una independencia (entre personas, organizaciones y economías) y por una flexibilidad apta para contextos turbulentos, con capacidad para adaptarse a los cambios del entorno. Se caracteriza, a su vez, por los cambios sociales y demográficos, por la valoración de la comunicación y las relaciones

interpersonales, así como por la importancia de la motivación y las funciones de liderazgo.

Jean-François Lyotard, reconocido por su introducción al posmodernismo a finales de 1970 (*La condición posmoderna: informe sobre el saber*) [21], Jameson, Noce, Baudrillard [22], entre otros, son los pensadores de la posmodernidad, que consideran más flexible y abierta que la sociedad moderna, más rígida. Gianni Vattimo, por su parte, en su obra *En torno a la postmodernidad* [23] hace una importante aportación al escenario multimedia, con sus trabajos sobre la teoría de los medios de comunicación en la posmodernidad, cuestionando el modelo determinista de la causalidad.

G.H. Hardy, por su parte, recoge la pugna y el forcejeo entre diferentes grupos que compiten por moldear la estructura de la sociedad/empresa, de forma que sirvan a sus propios intereses. Grant, Keenoy, Potter, entre otros, demandan un diálogo entre la multiplicidad de discursos que reflejan significados variados de las *realidades organizacionales* (*From modern to postmodern organizational analysis* de R. Chia) [24].

Hay una reescritura del posmodernismo que considera el mundo actual sin libertad económica y política, y lo reduce a un mundo sin espacio para la razón, subjetivo y sin futuro. Estas tesis revisionistas del posmodernismo fueron difundidas, sin éxito, hace años por Bricmont y Sokal (*Imposturas intelectuales*) [25] y en 2008 por el libertario francés de origen catalán, Jordi Vidal, en un panfleto (*Servitude et simulacre*) [26] a favor de viejas luces evocadoras de una lucha de clases felizmente superada.

Los actuales postulados sólo describen ciertos fenómenos de la nueva condición del análisis histórico-diacrónico-sincrónico. Los estudios de Jameson y Mandel, (*Postmodernism, or the cultural logic of late capitalism*) [27], a diferencia de las tesis de Lyotard y Baudrillard, han

potenciado la hipótesis de si las teorías desarrolladas en función de lo pre-moderno y lo post-moderno deberían interpretarse en una nueva reconfiguración, ubicando el posmodernismo como una nueva forma de capitalismo caracterizado por el término *multinacional, global* o similar.

Como puede apreciarse, el *management posmoderno* en su etapa actual se manifiesta como un conjunto heterogéneo y, en ocasiones, dividido en diferentes corrientes: neo-marxismo, post-estructuralismo (Baudrillard, Lyotard), teoría crítica (Habermas, Marcuse), posmodernismo francés (Barthes, Strauss), racionalismo cartesiano, autoconciencia hegeliana, modernidad hiperbolizada, etc. Todas ellas apuntan a una infinidad de escenarios posibles que nos esperan o que se pueden crear en el futuro, ya que la metamorfosis de la nueva condición posmoderna nos lleva a la construcción de un nuevo paradigma o matriz epistémica, que en palabras de Giacomo Marramao (*Apología del tiempo perdido*) [28], se proyecta en el futuro; es decir, para la sociedad y, en nuestro caso, para la empresa.

Nuevas formas de gestión empresarial

Venimos reiterando en éste y anteriores estudios sobre esta temática, que estamos viviendo en una sociedad en transformación que cuenta con nuevas tecnologías, nuevos sistemas de gestión empresarial y nuevos instrumentos jurídicos al servicio de la empresa, con sus impactos disruptivos, al propio tiempo que se está reescribiendo el futuro. Focalizado nuestro interés en el ámbito económico-financiero y apoyándonos en la opinión de destacados autores como Kaufmann (*Técnicas de gestión de empresas*) [29], Díaz-Zorita (*Tratamiento de los riesgos en el marco conceptual*) [30], Ulrich Beck (*Power in Global Age*) [31], puede afirmarse que solamente las organizaciones inteligentes y que sean capaces de gestionar la complejidad saldrán vencedoras de este nuevo orden mundial. Únicamente tendrán posibilidad aquellas organizaciones que asuman el reto y la cultura de la complejidad. En opi-

nión nuestra, los principales desafíos se asientan en: la *blockchain*, el *big data* y la gestión de riesgos.

La *blockchain*, un libro mayor con futuro

La *blockchain* o “cadena de bloques” es simplemente una base de datos descentralizada y compartida por una red de usuarios que permite transacciones seguras *on line*. Es la internet basada en un nuevo ecosistema que permite que la creación de valor esté al alcance de todo el mundo, es decir se democratice.

La creciente importancia de la *blockchain* se recoge en la puesta en marcha por la Comisión Europea de un Observatorio y Foro (*EU Blockchain Observatory and Forum*) el pasado 1 de febrero de 2018, afirmando que la *blockchain* “cambiará las vidas” de los residentes de la UE.

En la presentación del Observatorio y Foro se puso de relieve el interés que la UE tiene en desempeñar un papel activo para unir la economía en torno a la *blockchain*, que Europa se convierta en una referencia en esta tecnología exponencial (Jakob von Weizsäcker, del Parlamento Europeo). “Creo que ‘*blockchain*’ puede cambiarlo todo y quiero que Europa esté al frente de su desarrollo. Necesitamos establecer el entorno preciso: un “mercado único digital de ‘*blockchain*’ del que todos los ciudadanos puedan beneficiarse, en lugar de un mosaico de iniciativas” (Mariya Gabriel, Comisaria de Economía y Sociedad Digital de la UE). “Tecnologías como la ‘*blockchain*’ pueden ayudar a reducir costes mientras aumentan la confianza, la trazabilidad y la seguridad. Tienen un gran potencial para hacer más seguras las transacciones *on line* eliminando la necesidad de cualquier tipo de intermediario (Andrus Ansip, Vicepresidente de la Comisión para el Mercado Único Digital).

Paralelamente, este Observatorio está planteado como un importante apoyo para la estrategia comunitaria de fomento de las *fintech*,

como objetivo político de la Comisión Europea, que las considera básicas para el desarrollo del mercado único, incluyendo la unión bancaria, la unión de los mercados de capitales y los servicios financieros al por menor.

Estamos pasando de organizaciones muy jerárquicas a organizaciones en red -sistemas complejos-, descentralizadas, deslocalizadas y con procesos digitalizados y sin papel. En este contexto, desaparece de forma significativa la necesidad de control humano sobre tareas administrativas, seguimiento de presupuestos, control de riesgos, gestión de inventarios... y las relaciones con clientes, proveedores y empleados, esta es la aportación de la *blockchain* que representa un cambio de paradigma y se convierte en uno de los pilares de la cuarta revolución industrial.

La gestión descentralizada de las empresas, eliminación de intermediarios, transparencia, trazabilidad, inmutabilidad, confianza, *tokenización* son, entre otras, las ventajas que ofrecen las distintas “cadenas de bloques” (públicas, privadas, con o sin permisos, con o sin *smart contract*), aunque no sabemos hasta qué punto porque se trata de una tecnología en desarrollo con aplicaciones descentralizadas IoT o 5G que todavía no alcanzamos ni siquiera a imaginar y donde los *token* (de utilidad, de valor y de pago), pueden representar cualquier tipo de activos, pero también pueden representar, de forma conjunta o alternativa, el acceso a una red, a un sistema de incentivos a un derecho futuro sobre bienes o servicios.

El *Big Data* o la gestión 4V de la información

El *big data* es un producto genuino de la digitalización y se basa en un hecho tan simple de que toda acción humana es susceptible de ser medida y registrada. En la inmensidad de la red navegan diariamente grandes volúmenes de datos que no servirían de nada si no se almacenaran, se clasificaran y se analizaran. A partir de estos macrodatos se

generan conocimiento, productos y servicios. El análisis de datos es el pilar de todo negocio viable para Sebastián Barajas (*Aprender es hacer*) [32]. Estas 4V (Volumen, Velocidad, Variedad y Valor) en opinión de Alexandra Poch, añaden eficiencia y valor a las empresas, cualquiera que sea su tamaño o dimensión. Los datos no descansan y su conocimiento está revolucionando la ciencia, la economía, la política e incluso nuestro estilo de vida.

El *big data* imita el cerebro. Son redes de nódulos con *inputs* y *outputs*. Por eso, solo son inteligentes en la medida que tengan billones de datos fiables y las respuestas serán más exactas y rápidas que cualquier humano.

Se ha dicho que los datos son el petróleo del siglo XXI, una fuente que está creciendo a niveles inimaginables, incluso por encima de la capacidad humana de procesarlos, y lo más importante a destacar no son los datos en sí, sino la manera de obtener de ellos conocimiento y valor. Por ello la capacidad de procesamiento es clave en la transformación empresarial, creando un mundo más medible y programable, es decir, una oportunidad de cambio adoptando nuevas formas de organización que se adapten a entornos más flexibles y abiertos.

La compraventa de datos para estandarizar comportamientos y perfiles de usuarios es ya una realidad y permite la gestión dispersa de la innovación con el resultado de una mayor eficiencia.

Los desafíos de la revolución *big data* son enormes y afectan a grandes áreas de la sociedad y en especial en el ámbito empresarial. En el caso de las empresas el uso de los macrodatos contribuye a mejorar la toma de decisiones, y estamos seguros de que en un futuro próximo los robots (producto del *big data*, los algoritmos y de la propia inteligencia artificial -o algoritmos de optimización-) reemplazarán a los CEO y gerentes. Daniel Kahneman, premio Nobel de Economía y uno

de nuestros más ilustres académicos, decía recientemente: “No hay ninguna evidencia de que el juicio de un experto sea mejor que fórmulas construidas de forma inteligente”.

Desarrollar modelos predictivos permitirá mejorar la gestión empresarial porque si el conocimiento siempre ha sido necesario para el funcionamiento de las empresas, los *big data* nos otorgarán el superpoder para afrontar esta nueva revolución 4.0 y la irrupción de la inteligencia artificial. Pero en el momento de la toma de decisiones, la responsabilidad real residirá en el factor humano que se oculta tras el desarrollo de los algoritmos y en su idoneidad; en si se promueve su diseño únicamente en vistas al aumento de los beneficios empresariales o bien para abrir oportunidades a la prosperidad de las generaciones futuras.

No nos cansaremos de recordar que se atisban nuevas formas de vivir y trabajar. Un cambio de época. La sociedad del presente, y la del futuro, será de mayores riesgos e incertidumbres. Los jóvenes de hoy trabajarán en empleos desconocidos, pero ligados a entornos digitales. El *big data* será una oportunidad para el mundo empresarial pero un reto para el mundo laboral, en el que la propia OIT (Organización Internacional del Trabajo) se reconoce incapaz de contestar si, con el desarrollo tecnológico actual y el previsto, el número neto de puestos de trabajo se reducirá o aumentará.

La gestión del riesgo

En las últimas décadas, el riesgo ha pasado a ser una categoría clave en, y según Ulrich Beck (*An introduction to the theory of second modernity and the risk society*) [33], el proceso de conversión del entorno y contorno de la sociedad del riesgo, con la asimilación de errores y riesgos, de nuevas formas de organización del trabajo, los riesgos de la modernización, etc. cuya percepción se defiende mediante la inversión de la presunción de irracionalidad y la certidumbre empírica de sus hipótesis.

La gestión y control de los riesgos empresariales es, según un reciente informe de *The Economist Intelligence Unit*, el cuarto factor clave para la viabilidad de las empresas y en consecuencia ya nadie pone en duda de que la producción de riqueza va acompañada sistemáticamente con la producción social de riesgos.

La importante labor del *management* ha sido en esta área una especie de revolución silenciosa que de forma poco estructurada e incipiente se inicia con la *teoría del empresario-riesgo* de Frank H. Knight (*Riesgo, incertidumbre y beneficio*) [34], basando su tesis en la distinción entre riesgo e incertidumbre.

Todos los economistas coinciden con la paradoja de Ulrich Beck: “cuanto más globales, peligrosas y evidentes son las amenazas tanto menos accesibles son nuestros intentos para identificar pruebas, definir culpas, establecer mecanismos jurídicos de indemnizaciones, etc...” Estas razones son las que han elevado los riesgos a factores básicos a tener en cuenta en las ciencias sociales de nuestro tiempo, y por lo tanto, en la imperante necesidad de implementar una adecuada gestión de los mismos toda vez que los riesgos se presenta de una manera específica globalmente e inespecífica en el ámbito local

El pensamiento lógico es la base de la ciencia y el ilógico el que utilizan la mayor parte de empresarios para gestionar el riesgo atendiendo los parámetros de temporalidad. Para Ingrid Daubechies (*Ten lectures on wavelets*) [35] “cuando se elige entre hoy y mañana, la emoción domina sobre la lógica (...) en cambio, el cálculo a largo plazo y la planificación los hace un área cerebral más evolucionada, donde la lógica matemática racional se impone sobre la emoción animal primitiva”. Así, se puede elegir lo más conveniente, que en nuestro caso es la gestión de los riesgos.

La epistemología de la incertidumbre (eventos inciertos) plantea la reformulación conceptual de los riesgos, con objeto de evitar confusio-

nes terminológicas en un campo empresarial en donde las decisiones deben tomarse en un contexto caracterizado por la complejidad.

La teoría económica que puede enlazar riesgo e incertidumbre fue una aportación del psicólogo israelí Daniel Kahneman (premio Nobel de Economía en 2002). Demostró científicamente que en situaciones de incertidumbre las decisiones no se toman en base a factores estrictamente racionales, para lo cual se intenta suprimir la incertidumbre mediante razones de autoengaño. En sus aportaciones fundamentales (*The Prospect Theory* y *Choices, Values and Frames*) [36] prueba “que las personas, y en nuestro caso las empresas, evitan el riesgo cuando buscan ganancia y lo eligen si se trata de evitar una pérdida”. Es la llamada *teoría de la prospección*, según la cual las decisiones en situación de incertidumbre difieren de los principios básicos de la *teoría de la probabilidad*, dando lugar a la llamada *economía comportacional*.

Como ya hemos dicho, el mercado genera riesgos, no los gestiona. El riesgo es inherente a la empresa y el riesgo cero no existe. La empresa, en especial la sistémica, lleva asociada la preocupación por el crecimiento exponencial de los riesgos en el ámbito económico. La volatilidad macroeconómica y financiera, el incremento de la competencia, la fluctuación de las monedas nacionales, las crisis energéticas, la geopolítica mundial, la amenaza terrorista; así como tantos otros peligros e incertidumbres producen en el mundo empresarial una creciente percepción de los riesgos a los que se enfrentan.

Generalizando las tendencias, se puede constatar que en las últimas décadas el tema del riesgo empresarial está tomando carta de naturaleza como consecuencia del cambio genérico de paradigma cultural de un fenómeno tan significativo como es la globalización y, por tanto, de forma específica tiene implicaciones en el campo de la empresa.

La complejidad de las organizaciones empresariales provoca bucles de retroalimentación, en los que las nociones de causa-efecto se

diluyen: la causa es efecto y el efecto es causa; además, la causa y el efecto pueden estar alejados en el tiempo y en el espacio; lo que supone, lógicamente, un incremento no deseado en la potenciación y expansión del riesgo en la toma de decisiones.

En algunos trabajos sobre la problemática de los riesgos se destaca el carácter probabilístico de la actividad empresarial y cuya realización depende del juego de muchos factores, internos y externos, de la organización económica y que se relacionan con nuevas políticas y objetivos empresariales. Así, para Eduardo Leyton [37] “tendremos controles predictivos (con procesos híbridos, con redes neuronales y procesos *batch*, tolerantes a fallos, etc.), directivos, preventivos, detectivos, correctivos, de recuperación, etc”. Todos forman parte de la nueva cultura del conocimiento, de la *inteligencia emocional*, de la seguridad fisiológica, de las *dinámicas rápidas* y de las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

Los estudios sobre el comportamiento y la incidencia de los riesgos en la empresa nos han aportado información valiosa para formular las políticas de apoyo de la gerencia de riesgos mediante la aplicación de procedimientos de control interno y la subsiguiente mejora en las prácticas de gestión empresarial.

Los riesgos empresariales tienen carácter universal, holístico, sistémico y pueden manifestarse y afectar a todas las etapas y sectores de una empresa, ya que todas las actividades empresariales conllevan un riesgo.

Gestión de riesgos o “gestión de la incertidumbre” como el Prof. Arturo Rodríguez [38] indica debe señalarse en estas mismas páginas por la complejidad e incertidumbre producto de la tecnología y la globalización. En nuestra opinión manifestada ya en otras ocasiones (*Gestión y control de riesgos empresariales*) [39], la gestión de riesgos es holística, en un proceso proactivo que abarca la previsión y la prevención.

Es importante la selección de los modelos elegidos que deben cubrir básicamente las tres fases siguientes: a) fase de estudio (análisis del entorno; la identificación de los riesgos y/o incertidumbres y su análisis y evaluación; b) fase de implementación con un análisis coste/beneficio. José A. Aventín (*Clasificación de riesgos en la empresa*) [40] nos propone una metodología lógica para adoptar las soluciones adecuadas basada en: “ i) eliminación de riesgos; ii) reducción del nivel de riesgos; iii) retención de los riesgos y iv) transferencia de los riesgos, y fase c) de documentación y control (información, trazabilidad, monitoreo,...)”.

Situándonos en el campo de la complejidad e incertidumbre y a diferencia de lo que acontecía en épocas pasadas, la permanente evolución de los sistemas empresariales comporta un amplio abanico de riesgos, la globalización, las nuevas tecnologías disruptivas, la RSC, cambios sociales y demográficos y un largo etcétera provocan una cifra indeterminable de los riesgos e incertidumbres. Un recuento provisional podría situar en la cota de los 400 los que acechan a la empresa, pero instalados en la filosofía de lo inacabado y por tratarse de una temática no concluida, estamos seguros que el devenir incorporará nuevas tipologías por la transversalidad y retroalimentación de los nuevos procesos.

Concluiremos afirmando, una vez más, que para las organizaciones en general, y en nuestro caso para las empresas el *riesgo de cambio* es el mayor riesgo a que se enfrentan y solo las que tengan capacidad de crear cultura del riesgo saldrán vencedoras de este nuevo orden mundial.

De la posmodernidad al transhumanismo

Como hemos dicho anteriormente, uno de los últimos posicionamientos del posmodernismo fueron difundidas por Bricmont y Sokal (*Contra las imposturas intelectuales*) [41], abriendo un profundo debate con el transhumanismo que dice que apoya la evolución humana que niega a los posmodernos, según N. Vita-More (*The transhumanist reader*) [42].

Nuevas propuestas filosóficas como el (trans-pos)humanismo (T-P) de Peter Sloterdijk (*Normas para el parque humano*) [43] radicalizan el posmodernismo en un proyecto que está en íntima conexión con la concepción del hombre y de la ética que ésta tiene y que está abierta a infinitas posibilidades de contornos que pueden ser redefinidos continuamente, generando una pluralidad de modos de ser y, en consecuencia, también de actuar (L. Pastor en *Modernidad y Postmodernidad en la génesis del Transhumanismo-Posthumanismo*) [44].

El T-P avalado por los avances tecnológicos (inteligencia artificial, biotecnología, nanotecnología, biología sintética, *deep learning*, etc.) permitiría considerar otras formas, como la de seres híbridos (hombre-máquina, animal-hombre) o incluso para trascender los límites humanos de la temporalidad, a medida que los algoritmos biológicos y los algoritmos tecnológicos que se están mezclando no se distingan, como pueden ser propuestas postbiológicas a través del volcado del cerebro humano a un ordenador o seres híbridos, parte orgánica y parte cibernética donde los perfiles de lo humano se difuminan por completo y tendremos que establecer qué es un ser humano y qué no lo es.

Uno de los temas más preocupantes es el uso de la IA para fines militares con la producción de soldados robóticos... por lo que toma gran importancia la gestión de los riesgos, como la ciberdelincuencia, la actuación de los *hackers*, conforme se vaya implementando en sectores vitales como infraestructuras, finanzas... o simplemente en el internet de las cosas (IoT).

El desarrollo responsable de las ciencias a través de estrictos conceptos bioéticos permitiría atacar grandes problemas sociales como la pobreza, el envejecimiento o las enfermedades, Raymond Kurzweil (*La singularidad está cerca*) [45] o Albert Cortina (*Humanismo avanzado para una sociedad biotecnológica*) [46].

Una visión radical del transhumanismo, alejada de límites morales y éticos, está trabajando en la Singularity University (de la que dice que

es miembro el polémico José Luis Cordeiro autor de libros como *La muerte de la muerte*) [47] en Silicon Valley de California, en programas de superlongevidad, superinteligencia y superbienestar, que pretende convertir en una especie de *Homo Deus* a una élite de nuestra sociedad, ignorando los textos bíblicos acerca de los límites humanos y para ello se están apostando grandes fortunas, como el fondo de inversiones *Google Ventures* que invierte en valores de empresas de biotecnología con la esperanza de prolongar la vida indefinidamente. O el proyecto *Brain*, patrocinado en su día por Barack Obama, para desvelar los secretos del cerebro, leer la mente y manipular la actividad cerebral.

Por su parte, y en otra versión de los procesos evolutivos de la especie humana, el reputado paleontólogo Eduald Carbonell, director del yacimiento de Atapuerca (Burgos) en *Elogio del futuro* [48] considera que en un rango de unos 20 años los seres humanos se diversificarán en nuevas subespecies: habrá gente no modificada, personas como nosotros, sin ninguna modificación genética ni tecnológica importante. Pero también habrá gente modificada

Los críticos al Transhumanismo-Poshumanismo, cuestionamos la falta de principios morales que amenazan nuestros valores y que la propia humanidad podría ser esclavizada por robots si se diera rienda suelta a la ingeniería genética.

Varios prestigiosos investigadores entre los cuales destacamos a Francis Fukuyama (miembro del Consejo Presidencial de Bioética de los EEUU) afirma “que la filosofía transhumanista es la idea más peligrosa del mundo”. Por su parte el filósofo Nick Bostrom, del Instituto para el Futuro de la Humanidad (Oxford) y Gerd Leonhard (*Technology us humanity. Verlag Franz Vahlen GmbH*) [49] consideran que la superinteligencia (inteligencia superior a la humana) “es el mayor riesgo existencial”.

Y fue el propio Stephen Hawking, que en sus inicios defendió el poshumanismo, pero en sus últimos trabajos sobre la emergencia de la

súper inteligencia repensó el tema alertando en una conferencia celebrada en agosto de 2015 sobre el “supuesto peligro que supone el avance en robótica de la inteligencia artificial para la supervivencia del ser humano”.

Referencias

1. Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*. Paidós ibérica.
2. Prigogine, I. (1996). *El fin de las certidumbres*. Andrés Bello.
3. Hamel, G. (2008). The future of management. *Human Resource Management International Digest*, 16(6).
4. Albert, D. Z. (1994). Bohm's alternative to quantum mechanics. *Scientific American*, 270 (5), 58-67.
5. Mill, J. S. (1951). *Principios de economía política* (No. 330 M55Y).
6. Chester, B. (1938). The functions of the executive. *Harvard University Press, Cambridge*.
7. Drucker, P. (2012). *The practice of management*. Routledge.
8. Drucker, P. (1992). The society of organizations. *Harvard business review*, 95104.
9. Drucker, P. (2012). *Post-capitalist society*. Routledge.
10. Mintzberg, H. (1973). The nature of managerial work.
11. Mintzberg, H. (1989). *Mintzberg on management: Inside our strange world of organizations*. Simon and Schuster.
12. Porter, M. E. (2006). *Ser competitivo*. *Harvard Deusto Business Review*, (152), 48-51.
13. Senge, P. M., & Galgano, A. (1992). *La quinta disciplina* (Vol. 30). Sperling & Kupfer.
14. Ishikawa, K. (1985). *What is total quality control? The Japanese way*. Prentice Hall.
15. Boje, D. M. (2008). *Storytelling organizations*. Sage.
16. Boje, D. M., & Dennehy, R. F. (1993). *Managing in the postmodern world: America's revolution against exploitation*. Kendall/Hunt Publishing Company.

17. Castells, M. (2004). *La era de la información: economía, sociedad y cultura* (Vol. 3). siglo XXI.
18. Sisto Campos, V., & Iñiguez Rueda, L. (2004). *Teorías organizacionales postmodernas y la gestación del sujeto postmoderno*. Universitat Autònoma de Barcelona.
19. Bauman, Z. (2007). *Miedo líquido: La sociedad contemporánea y sus temores*.
20. Castells, M. (2006). *La sociedad red: una visión global* (No. U10 1087).
21. Lyotard, J. F. (2004). La Condició postmoderna: informe sobre el saber (p. 131617). Centre d'Estudis de Temes Contemporanis.
22. Jameson, F., Dominguez, R., Eastman, E. G., Baudrillard, J., Epstein, B., Benjamin, W., ... & Grote, J. (2002). *A singular modernity: Essay on the ontology of the present*. Verso.
23. Vattimo, G. (2003). En torno a la posmodernidad (Vol. 9). Anthropos Editorial.
24. Chia, R. (1995). *From modern to postmodern organizational analysis. Organization studies*, 16(4), 579-604.
25. Bricmont, J., & Sokal, A. (1999). *Imposturas intelectuales*. Paidós Ibérica.
26. Vidal, J. (2007). *Servitude et simulacre*.
27. Jameson, F. (1991). *Postmodernism, or, the cultural logic of late capitalism*. Duke University Press.
28. Marramao, G., Aguilà, H., & Carosia, E. (2008). *Kairós: apología del tiempo oportuno*. Gedisa.
29. Kaufmann, A., & Gil Aluja, J. (1992). *Técnicas de gestión de empresa: previsiones, decisiones y estrategias*.
30. Díaz-Zorita, A. L. (2000). Tratamiento de los riesgos en el Marco Conceptual. In *El marco conceptual para la información financiera: análisis y comentarios* (pp. 281-304). Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas, AECA
31. Beck, U. (2005). *Power in the global age: A new global political economy*. Polity.
32. Barajas, S. (2013). *Aprender es hacer, o, Cómo adaptar el sistema educativo al siglo XXI*. Ediciones Invisibles.
33. Sørensen, M. P., & Christiansen, A. (2012). *Ulrich Beck: an introduction to the theory of second modernity and the risk society*. Routledge.

34. Knight, F. H. (1947). *Riesgo, incertidumbre y beneficio*.
35. Daubechies, I. (1992). *Ten lectures on wavelets* (Vol. 61). Siam.
36. Kahneman, D., & Tversky, A. (1984). Choices, values, and frames. *American psychologist*, 39(4), 341.
37. Leyton, E. (2004). *Auditorías de tecnologías de la información*.
38. García-Zambrano, L., Rodríguez-Castellanos, A., & García-Merino, J. D. (2014). Una gestión activa de los intangibles empresariales y su incidencia en los resultados financieros de un modo sostenible. *Estudios de Economía Aplicada*, 32(3).
39. Poch Torres, R., Poch Vilaplana, MD. (2015). *Gestión y control de riesgos empresariales (Risk Management)*.
40. Aventín, J. A. (1990). Clasificación de riesgos en la empresa. *Gerencia de Riesgos y Seguro (MANFRE)*, 45-53.
41. Sokal, A. (2010). Contra las imposturas intelectuales. *Revista Herramienta*, (7).
42. More, M., & Vita-More, N. (Eds.). (2013). *The transhumanist reader: Classical and contemporary essays on the science, technology, and philosophy of the human future*. John Wiley & Sons.
43. Sloterdijk, P. (2000). *Normas para el parque humano: una respuesta a la carta sobre el humanismo de Heidegger* (Vol. 11). Siruela.
44. García, L. M. P., & Cuadrado, J. Á. G. (2014). Modernity and postmodernity in the genesis of posthumanism. *Cuadernos de bioética*, 25(85), 335-350.
45. Kurzweil, R. (2012). *La singularidad está cerca*. Berlín, Alemania: Lola-books.
46. Cortina, A., & Serra, M. À. (2016). *Humanidad infinita: Desafíos éticos de las tecnologías emergentes*. Ediciones Internacionales Universitarias.
47. Mateo, J. L. C., & Wood, D. W. (2018). *La muerte de la muerte: La posibilidad científica de la inmortalidad física y su defensa moral*. Deusto.
48. Carbonell, E. (2018). *Elogio del futuro: Manifiesto por una conciencia crítica de especie*. Barcelona: Arpa.
49. Leonhard, G. (2017). *Technology vs. Humanity*. Verlag Franz Vahlen GmbH.



*Real Academia
de Ciencias Económicas y Financieras*

PUBLICACIONES DE LA REAL ACADEMIA
DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y FINANCIERAS

*Las publicaciones señaladas con el símbolo  están disponibles en formato PDF en nuestra página web:
<https://racef.es/es/publicaciones>

**R.A.C.E.F. T.V. en  o 

Los símbolos  y  indican que hay un reportaje relacionado con la publicación en el canal RACEF TV

PUBLICACIONES DEL OBSERVATORIO DE INVESTIGACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

- M-24/11 *Nuevos mercados para la recuperación económica: Azerbaiyán.*  
- M-30/12 *Explorando nuevos mercados: Ucrania, 2012. (Incluye DVD con textos en ucraniano), 2012.*
- M-38/15 *Desarrollo de estrategias para la cooperación económica sostenible entre España y México, 2015.* 
- M-41/16 *Cuba a la luz de la Nueva Ley de Inversiones Extranjeras: Retos y oportunidades para la economía catalana, (Estudio elaborado por el Observatorio de Investigación Económico- Financiera), 2016.*   
- MO-47/16 *Colombia: la oportunidad de la paz. Estudio sectorial para la inversión de empresas españolas en el proceso de reconciliación nacional (Estudio del Observatorio de Investigación Económico-Financiera de la RACEF).* 
- MO-50/17 *La gestión y toma de decisiones en el sistema empresarial cubano. Gil Lafuente, Anna Maria; García Rondón, Irene; Souto Anido, Lourdes; Blanco Campins, Blanca Emilia; Ortiz, Torre Maritza; Zamora Molina, Thais.* 
- MO-52/18 *Efectos de la irrupción y desarrollo de la economía colaborativa en la sociedad española. Gil Lafuente, Anna Maria; Amiguet Molina, Lluís; Boria Reverter, Sefa; Luis Bassa, Carolina; Torres Martínez, Agustín; Vizuete Luciano, Emilio.* 
- MO-53/19 *Índice de equidad de género de las comunidades autónomas de España: Un análisis multidimensional. Gil Lafuente, Anna Maria; Torres Martínez, Agustín; Boria Reverter, Sefa; Amiguet Molina, Lluís.* 
- MO-54/19 *Sistemas de innovación en Latinoamérica: Una mirada compartida desde México, Colombia y Chile. Gil-Lafuente, Anna M.; Alfaro-García, Víctor G.; Alfaro-Calderón, Gerardo G.; Zaragoza-Ibarra, Artemisa; Gómez-Monge, Rodrigo; Solís-Navarrete, José A.; Ramírez-Triana, Carlos A.; Pineda-Escobar, María A.; Rincón-Ariza, Gabriela; Cano-Niño, Mauricio A.; Mora-Pardo, Sergio A.; Nicolás, Carolina; Gutiérrez, Alexis; Rojas, Julio; Urrutia, Angélica; Valenzuela, Leslier; Merigó, José M.* 
- MO-56/19 *Kazakhstan: An Alliance or civilizations for a global challenge. Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan – Institute of Economic Research; Royal Academy of Economic and Financial Sciences of Spain.* 

OTRAS PUBLICACIONES Y COEDICIONES DE LA REAL ACADEMIA

- M-1/03 *De Computis et Scripturis (Estudios en Homenaje al Excmo. Sr. Dr. Don Mario Pifarré Riera)*, 2003. 
- M-2/04 *Sesión Académica de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras en la Académie du Royaume du Maroc (Publicación del Solemne Acto Académico en Rabat el 28 de mayo de 2004)*, 2004.  
- M-3/05 *Una Constitución para Europa, estudios y debates (Publicación del Solemne Acto Académico del 10 de febrero de 2005, sobre el “Tratado por el que se establece una Constitución para Europa”)*, 2005. 
- M-4/05 *Pensar Europa (Publicación del Solemne Acto Académico celebrado en Santiago de Compostela, el 27 de mayo de 2005)*, 2005.
- M-5/06 *El futuro de las relaciones euromediterráneas (Publicación de la Solemne Sesión Académica de la R.A.C.E.F. y la Universidad de Túnez el 18 de marzo de 2006)*, 2006. 
- M-6/06 *Veinte años de España en la integración europea (Publicación con motivo del vigésimo aniversario de la incorporación de España en la Unión Europea)*, 2006. 
- M-7/07 *La ciencia y la cultura en la Europa mediterránea (I Encuentro Italo-Español de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras y la Accademia Nazionale dei Lincei)*, 2007.  
- M-8/07 *La responsabilidad social de la empresa (RSE). Propuesta para una nueva economía de la empresa responsable y sostenible*, 2007. 
- M-9/08 *El nuevo contexto económico-financiero en la actividad cultural y científica mediterránea (Sesión Académica internacional en Santiago de Compostela)*, 2008. 
- M-10/08 *Pluralidad y unidad en el pensamiento social, técnico y económico europeo (Sesión Académica conjunta con la Polish Academy of Sciences)*, 2008.  
- M-11/08 *Aportación de la ciencia y la cultura mediterránea al progreso humano y social (Sesión Académica celebrada en Barcelona el 27 de noviembre de 2008)*, 2009. 
- M-12/09 *La crisis: riesgos y oportunidades para el Espacio Atlántico (Sesión Académica en Bilbao)*, 2009. 
- M-13/09 *El futuro del Mediterráneo (Sesión Académica conjunta entre la Montenegrin Academy of Sciences and Arts y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, celebrada en Montenegro el 18 de mayo de 2009)*, 2009.  
- M-14/09 *Globalisation and Governance (Coloquio Internacional entre la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras y el Franco-Australian Centre for International Research in Management Science (FACIREM), celebrado en Barcelona los días 10-12 de noviembre de 2009)*, 2009. 
- M-15/09 *Economics, Management and Optimization in Sports. After the Impact of the Financial Crisis (Seminario Internacional celebrado en Barcelona los días 1-3 de diciembre de 2009)*, 2009.  

- M-16/10 *Medición y Evaluación de la Responsabilidad Social de la Empresa (RSE) en las Empresas del Ibex 35*, 2010. 
- M-17/10 *Desafío planetario: desarrollo sostenible y nuevas responsabilidades (Solemne Sesión Académica conjunta entre l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Bélgica y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, en Bruselas el día 8 de Junio de 2010)*, 2010.  
- M-18/10 *Seminario analítico sobre la casuística actual del derecho concursal (Sesión Académica celebrada el 4 de junio de 2010)*, 2010. 
- M-19/10 *Marketing, Finanzas y Gestión del Deporte (Sesión Académica celebrada en la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras en diciembre de 2009)*, 2010.  
- M-20/10 *Optimal Strategies in Sports Economics and Management (Libro publicado por la Editorial Springer y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras)*, 2010
- M-21/10 *El encuentro de las naciones a través de la cultura y la ciencia (Solemne Sesión Académica conjunta entre la Royal Scientific Society de Jordania y la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, en Amman el día 8 de noviembre de 2010)*, 2010.  
- M-21B/10 *Computational Intelligence in Business and Economics (Proceedings de MS'10 International Conference celebrada en Barcelona los días 15-17 de julio de 2010)*. Edición de World Scientific, 2010.
- M-22/11 *Creación de valor y responsabilidad social de la empresa (RSE) en las empresas del IBEX 35*, 2011. 
- M-23/11 *Incidencia de las relaciones económicas en la recuperación económica del área mediterránea (VI Acto Internacional celebrado en Barcelona el 24 de febrero de 2011), (Incluye DVD con resúmenes y entrevistas de los ponentes)* 2011.  
- M-25/11 *El papel del mundo académico en la sociedad del futuro (Solemne Sesión Académica en Banja Luka celebrada el 16 de mayo de 2011)*, 2011.  
- M25B/11 *Globalisation, governance and ethics: new managerial and economic insights (Edición Nova Science Publishers)*, 2011.
- M-26/12 *Decidir hoy para crear el futuro del Mediterráneo (VII acto internacional celebrado el 24 de noviembre de 2011)*, 2012.  
- M-27/12 *El ciclo real vs. el ciclo financiero un analisis comparativo para el caso español. Seminario sobre política anticíclica*, 2012.  
- M-28/12 *Gobernando las economías europeas. La crisis financiera y sus retos. (Solemne Sesión Académica en Helsinki celebrada el 9 de febrero de 2012)*, 2012.  
- M-29/12 *Pasado y futuro del área mediterránea: consideraciones sociales y económicas (Solemne Sesión Académica en Bejaia celebrada el 26 de abril de 2012)*, 2012. 
- M-31/13 *Why austerity does not work: policies for equitable and sustainable growth in Spain and Europe (Conferencia del académico correspondiente para Estados Unidos, Excmo. Sr. Dr. D. Joseph E. Stiglitz, Pronunciada en Barcelona en diciembre de 2012)*, 2013.   

- M-32/13 *Aspectos micro y macroeconómicos para sistemas sociales en transformación (Solemne Sesión Académica en Andorra celebrada el 19 de abril de 2013)*, 2013.   
- M-33/13 *La unión europea más allá de la crisis (Solemne Sesión Académica en Suiza celebrada el 6 de junio de 2013)*, 2013.   
- M-33B/13 *Decision Making Sytems in Business Administration (Proceedings de MS'12 International Conference celebrada en Río de Janeiro los días 10-13 de diciembre de 2012)*. Edición de World Scientific, 2013.
- M-34/14 *Efectos de la evolución de la inversión pública en Educación Superior. Un estudio del caso español y comparado (Trabajo presentado por la Sección Primera de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras)*, 2014. 
- M-35/14 *Mirando el futuro de la investigación científica (Solemne Acto Académico Conjunto celebrado en Bakú el 30 de mayo de 2014)*, 2014.  
- M-36/14 *Decision Making and Knowledge Decision Support Systems (VIII International Conference de la RACEF celebrada en Barcelona e International Conference MS 2013 celebrada en Chania Creta. Noviembre de 2013)*. Edición a cargo de Springer, 2014.  
- M-37/14 *Revolución, evolución e involución en el futuro de los sistemas sociales (IX Acto internacional celebrado el 11 de noviembre de 2014)*, 2014.  
- M-39/15 *Nuevos horizontes científicos ante la incertidumbre de los escenarios futuros (Solemne Acto Académico Conjunto celebrado en Cuba el 5 de mayo de 2015)*, 2015.  
- M-40/15 *Ciencia y realidades económicas: reto del mundo post-crisis a la actividad investigadora (X Acto Internacional celebrado el 18 de noviembre de 2015)*, 2015.   
- ME-42/16 *Vivir juntos (Trabajo presentado por la Sección Tercera de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras)*, 2016. 
- MS-43/16 *¿Hacia dónde va la ciencia económica? (Solemne Acto Académico Conjunto con la Universidad Estatal de Bielorrusia, celebrado en Minsk el 16 de mayo de 2016)*, 2016.   
- MS-44/16 *Perspectivas económicas frente al cambio social, financiero y empresarial (Solemne Acto Académico Conjunto con la Universidad de la Rioja y la Fundación San Millán de la Cogolla, celebrado en La Rioja el 14 de octubre de 2016)*, 2016.   
- MS-45/16 *El Comportamiento de los actores económicos ante el reto del futuro (XI Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras, celebrado en Barcelona el 10 de noviembre de 2016)*, 2016.   
- MS-46/17 *El agua en el mundo-El mundo del agua/ Water in the world- The World of Water (Nueva Edición Bilingüe Español-Inglés del Estudio a cargo del Prof. Dr. Jaime Lamo de Espinosa, publicada con motivo del 150 aniversario de Agbar)*, 2017.   
- MS-48/17 *El pensamiento económico ante la variedad de espacios españoles (Solemne Acto Académico conjunto con la Universidad de Extremadura y la Junta de Extremadura celebrado los días 2-3 de marzo de 2017)*, 2017.   
- MS-49/17 *La economía del futuro en Europa. Ciencia y realidad. Calmíc, Octavian; Aguer Hortal, Mario; Castillo, Antonio; Ramírez Sarrió, Dídac; Belostecnic, Grigore; Rodrí-*

guez Castellanos, Arturo; Bîrcă, Alic; Vaculovschi, Dorin; Metzeltin, Michael; Verejan, Oleg; Gil Aluja, Jaime. 

- MS-51/17 *Las nuevas áreas del poder económico (XII Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 16 de noviembre de 2017)*, 2017.   
- MS-53/18 *El reto de la prosperidad compartida. El papel de las tres culturas ante el siglo XXI. Solemne acto académico conjunto con la Fundación Tres Culturas del Mediterráneo (Barcelona Economics Network)*. Askenasy, Jean; Imanov, Gorkmaz; Granell Trias, Francesc; Metzeltin, Michael; Bernad González, Vanessa; El Bouyoussfi, Mounir; Ioan Franc, Valeriu; Gutu, Corneliu.   
- MS-54/18 *Las ciencias económicas y financieras ante una sociedad en transformación. Solemne Acto Académico conjunto con la Universidad de León y la Junta de Castilla y León, celebrado el 19 y 20 de abril de 2018*. Rodríguez Castellanos, Arturo; López González, Enrique; Escudero Barbero, Roberto; Pont Amenós, Antonio; Ulibarri Fernández, Adriana; Mallo Rodríguez, Carlos; Gil Aluja, Jaime.   
- MV-01/18 *La ciencia y la cultura ante la incertidumbre de una sociedad en transformación (Acto Académico de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras en la Universidad de Tel Aviv celebrado el 15 y 16 de mayo de 2018)*, 2018. 
- MS-55/19 *Desafíos de la nueva sociedad sobrecompleja: Humanismo, dataísmo y otros ismos (XIII Acto Internacional de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras celebrado en Barcelona el 15 y 16 de noviembre de 2018)*, 2018.   
- MS-57/19 *Complejidad Financiera: Mutabilidad e Incertidumbre en Instituciones, Mercados y Productos. Solemne Acto Académico Conjunto entre la Universitat de les Illes Balears, la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España, el Cercle Financer de Balears, el Colegio de Economistas de las Islas Baleares y el Cercle d'Economia de Mallorca, celebrado los días 10-12 de abril de 2019*. Rodríguez Castellanos, Arturo; López González, Enrique; Liern Carrión, Vicente; Gil Aluja, Jaime.   
- ME-58/19 *Un ensayo humanista para la formalización económica. Bases y aplicaciones (Libro Sección Segunda de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras)*, 2019. 

Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras

SECCIÓN SEGUNDA: ECONÓMICO-CONTABLE Y FINANCIERA

PRESIDENTE:

Dr. José Antonio Redondo López

ME-58/19

UN ENSAYO HUMANISTA PARA LA FORMALIZACIÓN ECONÓMICA BASES Y APLICACIONES

En este curso 2018-2019 la Sección Segunda de la Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras de España presenta una compilación de trabajos de sus Académicos bajo el título “Un ensayo humanista para la formalización económica. Bases y aplicaciones”. La diversidad de disciplinas en las que cada Académico desarrolla su trayectoria de investigación, da lugar a una riqueza de conocimientos que hoy se muestra reflejado en este trabajo. La preocupación constante y la búsqueda de respuestas a los fenómenos sociales a través de las ciencias económicas, han sido el motivo para la preparación de cada uno de los trabajos aquí expuestos. El análisis de la incertidumbre, propia de cualquier acto humano, es una constante que interfiere en los veloces cambios a los cuales se expone la sociedad actual con los avances tecnológicos que cada día afectan las relaciones humanas. Las ciencias económicas no son ajenas a estos cambios, por lo que forman parte del desarrollo de los individuos, la sociedad, el Estado y, en general, del mundo globalizado.



*Real Academia
de Ciencias Económicas y Financieras*