

CUADERNOS DEL CIMBAGE



Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ciencias Económicas



LEGADO DE LOTFI ZADEH

Autor(es): RUBIN, C. N.

Fuente: Cuadernos del CIMBAGE, Nº 20 (Mayo 2018), pp 1-12

Publicado por: Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires.

Vínculo: <http://www.economicas.uba.ar/cuadernos-cimbage>



Esta revista está protegida bajo una licencia *Creative Commons Attribution-NonCommercialNoDerivatives 4.0 International*.

Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.



Cuadernos del CIMBAGE es una revista académica anual editada por el **Centro de Investigaciones en Metodología Borrosa Aplicadas a la Gestión y a la Economía** (CIMBAGE) perteneciente al Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Métodos Cuantitativos para la Gestión (IADCOM).

LEGADO DE LOTFI ZADEH

Carlos N. Rubin
CIMBAGE – Centro de Investigación en Métodos Cuantitativos
Aplicados a la Economía y la Gestión-IADCOM.
Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires
Av. Córdoba 2122 – CABA – C1120AAQ – Argentina

cxrubin@gmail.com



Dr. Lotfi Asker Zadeh

INTRODUCCIÓN

Dedicamos este espacio a la memoria de Lotfi Asker Zadeh, padre de la matemática borrosa, quien falleciera el pasado 6 de setiembre de 2017, a la edad de 96 años, en Berkeley, California, EEUU.

En primer lugar, no deja de ser un gran compromiso, intentar hacer una semblanza de quien ha sido, sin duda alguna, uno de los pensadores más fecundos de la actualidad, que ha revolucionado la ciencia y cambió la visión general del mundo.

Zadeh fue una persona que produjo, durante los últimos 70 años, en forma ininterrumpida, un vasto cúmulo de ideas importantes que influyen, y continuarán influenciando, al menos por largo tiempo, en diferentes campos del conocimiento. Esta afirmación cobra validez tanto en el pensamiento científico y el filosófico, como en el desarrollo tecnológico.

Por otra parte, esta ocasión es apropiada para rendir un merecido tributo a quien actuara con una excepcional amabilidad y, en especial, con un amplio sentido de la amistad.

La exquisita personalidad de Zadeh constituyó, sin dudas, un factor de éxito. Amante de las controversias, siempre estuvo dispuesto a discutir sus ideas con generosa cortesía y supo reconocer la utilidad de los otros métodos, diferentes a los suyos, siempre y cuando estuvieran adecuadamente sustentados. Supo respetar las ideas ajenas, por lo que nunca intentó hacer un lobby académico con las propias. Su sentido universal de la amistad le permitió acercarse a personas de todas las razas, religiones y países, lo cual logró que la comunidad científica y tecnológica mundial se adhiriera a sus ideas.

Fuera del ámbito científico, Zadeh siempre fue muy afectuoso con sus padres, esposa e hijos. Ha sabido cultivar amistades muy duraderas con algunos de sus colegas. Disfrutaba mucho de los viajes. Asimismo, le gustaba bailar y practicar tenis.

BREVE BIOGRAFÍA¹²³

Lotfi Zadeh nació en 1921, en Bakú, hijo de un corresponsal iraní y de una médica rusa. Bakú es la ciudad capital de Azerbaiyán y está ubicada en la orilla occidental del Mar Caspio. La vida de Zadeh transitó por cinco lugares, donde ocurrieron las distintas etapas que marcaron su destino.

En 1921-1931, pasa su niñez en Bakú donde disfruta de una vida privilegiada, pese al régimen estalinista. En 1932-1944, completa su educación en Teherán. Se gradúa con honores en Ingeniería Eléctrica, en la Universidad de Teherán, pese al régimen del sha de Persia.

¹ <http://www.visions.az/en/news/49/2bbd742d/> (Nov'2017)

² <http://www.visions.az/en/news/49/2bbd742d/> (Nov'2017)

³https://www.azer.com/aiweb/categories/magazine/74_folder/74.articles/74_zadeh.htm
1 (Nov'2017)

En 1944-1946, se traslada a Boston, Massachusetts, EEUU, y obtiene el ansiado título de Master en Ingeniería Eléctrica en el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts).

En 1947-1958, se radica en Nueva York, Nueva York, EEUU, para estar junto a sus padres, recién llegados de Irán. Trabaja en la Universidad de Columbia, donde, en 1948, se gradúa en Ingeniería Electrónica y, en 1949, de Doctor en Ingeniería Eléctrica. Se desempeña como profesor en la Universidad de Columbia hasta el año 1958.

En 1959-2017, se traslada a Berkeley, California, EEUU, enseña en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Berkeley. En 1963, es designado Jefe de dicho Departamento. En 1973, disfruta de un año sabático en el MIT (Boston) y lo dedica a la investigación. En 1991 se convierte en profesor emérito, en cuyo carácter, su actividad de investigador y divulgador científico se mantiene hasta una semana antes de su deceso.

LEGADO DE ZADEH

Zadeh ha sido un ingeniero electrónico, muy activo en la era de la Cibernética, siempre interesado en las Matemáticas y su aplicación en las Ciencias de Sistemas, Informática, Lógica, Lingüística e Inteligencia Artificial.

Su legado se fue gestando en los trabajos que fueron realizados en las Universidades de Columbia (Nueva York) y Berkeley (California). Desde un primer momento, a fines de los años 40, cuando estaba en la Universidad de Columbia, Zadeh ya estaba interesado en las “máquinas que piensan” y los “cerebros electrónicos”.

No obstante, es digno de mencionar que, mientras hacía sus primeros estudios en Teherán, Zadeh fue galardonado con algunas patentes, incluyendo un motor rotativo más simple que el motor Wankel, el cual fue construido cuando contaba con solo trece años de edad.

Si bien Zadeh ha sido el autor de una decena de teorías importantes en distintos ámbitos de la ciencia, ciertamente que lo más trascendente ha sido el trabajo “Fuzzy Sets”⁴, que fuera publicado en el año 1965, cuya génesis es tratada en forma separada, más adelante, en este artículo. De igual modo se trata el tema “Softcomputing” (computación blanda).

⁴ <https://people.eecs.berkeley.edu/~zadeh/papers/Fuzzy%20Sets-1965.pdf> (Nov 2017)

Actividad en Nueva York (1947 – 1958)

En la Universidad de Columbia, Nueva York, Zadeh se relacionó con John R. Ragazzini y Charles Desoer. Por entonces, su actividad científica estaba enfocada en la ingeniería electrónica, donde realizó las siguientes contribuciones liminares:

- 1949 *Desarrollo de una teoría basada en el dominio de la frecuencia de redes que varían en el tiempo.* Tesis doctoral, dirigida por John R. Ragazzini.
- 1950 *Máquinas que piensan: un nuevo campo de Ingeniería Eléctrica, y Una extensión de la teoría de predicción de Wiener,* artículos de Zadeh y Ragazzini, que hoy son considerados, respectivamente, los precursores de la Inteligencia Artificial y la Teoría de Sistemas.
- 1952 *Desarrollo del enfoque de la transformación Z,* con JR Ragazzini, que, posteriormente daría lugar al conocido texto *Sampled-data Control Systems,* de Ragazzini y Franklin, 1958, obra cumbre sobre el tema.
- 1953 *Desarrollo de la teoría de los filtros no lineales*
- 1956 *Formulación del problema del sistema identificación*
- 1963 *Iniciación del enfoque espacio-estado para el análisis de sistemas lineales,* con CA Desoer. Este libro se considera actualmente la piedra angular en el desarrollo del enfoque del espacio de estado y su aplicación al control óptimo y análisis de sistemas.

Actividad en Berkeley (1959 – 2017)

En 1958, Norbert Wiener, el padre de la cibernética, por entonces jefe del departamento de ingeniería de Berkeley, entusiasmó a Zadeh, para trabajar en la Universidad de Berkeley. Zadeh dudó en un comienzo, pero al final aceptó y se trasladó a Berkeley al año siguiente.

En 1963, Lotfi Zadeh es elegido jefe del Departamento de Ingeniería Eléctrica de Berkeley. Fiel a sus convicciones, Zadeh luchó contra viento y marea, para que se incluyera la disciplina Informática y pasara a llamarse departamento de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación. A partir de entonces, el departamento “Electrical

Engineering and Computing Sciences”, fue para Zadeh, un hogar académico funcional, donde se sentía a gusto, y que pasó a ser el lugar donde generó su mayor producción científica.

Zadeh fue un pensador que supo ver con claridad la evolución del mundo. Al hacerse cargo del Departamento en Berkeley, en 1963, Zadeh afirmaba: "Estamos en la encrucijada de la política, la filosofía, la sociología, la teología y la resolución de conflictos de dos revoluciones. La primera es la *revolución de la información*. Esta revolución creó la red informática internacional, Internet. La segunda es la *revolución de los sistemas inteligentes*, que ha creado robots inteligentes, sistemas de control inteligentes y sistemas difusos. Estos son todos fruto de la lógica difusa".⁵

La actividad de Zadeh estaba enfocada en los sistemas complejos y los procesos de decisión. Realizó las siguientes contribuciones liminares:

1965	<i>Teoría de los conjuntos borrosos y la lógica difusa</i>
1968	<i>Medidas de probabilidad de los eventos difusos</i>
1970	<i>Toma de decisiones en un entorno difuso</i> (con RE Bellman)
1971	<i>Hacia una Teoría de sistemas difusos</i>
1973	<i>Nuevo enfoque al análisis de los sistemas complejos y procesos de decisión</i>
1973	<i>El concepto de variable lingüística y sus aplicaciones al razonamiento aproximado.</i>
1978	<i>PRUF (Possibilistic Relational Universal Fuzzy), un lenguaje de representación de significado para lenguajes naturales.</i>
1979	<i>Teoría del Razonamiento Aproximado.</i>

⁵ <http://www.visions.az/en/news/49/2bbd742d/> (Nov'2017)

1983	<i>Lógica Difusa como base para el manejo de la incertidumbre en sistemas expertos.</i>
1985	<i>Teoría de la usualidad y el razonamiento de sentido común.</i>
1988	<i>Lógica disposicional.</i>
1991	<i>Cálculos de reglas borrosas, gráficos difusos y probabilidades difusas.</i>
1991	<i>Informática blanda (softcomputing). Es la composición sinérgica de la Lógica Fuzzy, Computación Probabilística, Algoritmos Genéticos y Redes Neuronales.</i>
1996	<i>Informática con palabras (CWW)</i>
1997	<i>Teoría de la granulación de la información difusa, y su lugar central en el razonamiento humano, y la lógica difusa.</i>
2001	<i>Desde la computación con números hasta la computación con palabras: desde la manipulación de las mediciones hasta la manipulación de las percepciones.</i>
2011	<i>Números-Z. El concepto de Número-Z incorpora el aspecto de fiabilidad (certidumbre) de la información.</i>

La génesis del trabajo “Fuzzy Sets”⁶

Ya a fines de los años 40, Lotfi Zadeh estaba muy interesado en las “máquinas pensantes”. En 1950, sin conocer el artículo filosófico de Turing, Zadeh escribió el artículo "Thinking Machines A New Field in Electrical Engineering", que apareció en la revista estudiantil The Columbia Engineering Quarterly, en la ciudad de Nueva York, en 1950. Allí, Zadeh propone un debate con las preguntas "¿Cómo afectarán los 'cerebros electrónicos', o las 'máquinas pensantes', a nuestra forma de

6 R. Seising (2007).

vida?" y "¿Cuál es el papel de los ingenieros eléctricos en el diseño de estos dispositivos?".

Zadeh estaba analizando "los principios y la organización de las máquinas que se comportan como un cerebro humano." Varias máquinas se llamaban "máquinas pensantes", "cerebros electrónicos", "robots pensantes" y nombres similares. Zadeh mencionó que los "mismos nombres se suelen atribuir a dispositivos que no son "máquinas pensantes" en el sentido utilizado en este artículo", por lo que se separó de la siguiente manera: "La característica distintiva de las máquinas pensantes es la capacidad de tomar decisiones lógicas y seguir esto, si es necesario, por acción ejecutiva. Zadeh dijo:" En términos más generales, se puede decir que una máquina pensante es un dispositivo que llega a una determinada decisión o respuesta a través del proceso de evaluación y selección".⁷

Richard Bellman y Lotfi Zadeh se conocieron en la ciudad de Nueva York en 1954. Bellman era un matemático aplicado, célebre por su invención de la Programación Dinámica en 1953. Bellman había viajado a Columbia para sondear sus perspectivas de obtener un puesto en la universidad. Estaba muy feliz trabajando en RAND, pero algunos de los parientes de su esposa habían tenido contacto con comunistas. RAND Corporation⁸ (Research ANd Development) era una organización de investigación sin fines de lucro (think tank), ubicada en Santa Mónica, con vínculos con el ejército, y Bellman creía que esto podía ocasionarle problemas, aunque esta situación nunca surgió.

Cuando se incorporó en Nueva York en 1954, Bellman se unió a la Programación Dinámica y Zadeh lo alentó a escribir un artículo al respecto, que luego enviaría a el IRE⁹. A pesar de que el manuscrito que preparó Bellman fue finalmente rechazado por el IRE, aquí comenzó una cálida relación duradera entre ellos. Bellman recordó su encuentro con Zadeh de la siguiente manera:

“En uno de mis viajes a Nueva York, visité Columbia por invitación de Merrill Flood. Conocí a Lotfi Zadeh y Rudy Kalman. Algunos años después, Lotfi se trasladó a Berkeley y comenzó su trabajo en sistemas difusos. Tuvimos muchas discusiones y vi la importancia de su trabajo de inmediato. Con la ayuda de los sistemas difusos, ahora era posible aplicar las matemáticas a los sistemas sociales y manejar los tipos de incertidumbre que escapaban por completo a la probabilidad clásica.”

⁷ R. Seising (2011)

⁸ <https://www.rand.org/about/history.html> (Nov'2017)

⁹ https://www.ieee.org/about/ieee_history.html (Nov'2017)

En 1964, Zadeh y Bellman ya habían construido una estrecha amistad dentro y fuera del ámbito académico. Para Zadeh, Bellman fue su mejor amigo y siempre consideró que era realmente una gran persona.

En el contexto antes descrito resulta oportuno plantearse las preguntas: ¿Cuándo, dónde y cómo sucedió la "creación" de los conjuntos difusos? ¿Cuáles fueron las razones que inspiraron a Lotfi Zadeh a proponer una teoría para estos "conjuntos poco claros"?

La historia de los conjuntos difusos comienza, básicamente, con un problema de reconocimiento de patrones. En el año 1964, era extremadamente cuestionable la capacidad de las máquinas para reconocer patrones, lo cual era una gran limitación para el diseño de mecanismos inteligentes.

Desde hacía tiempo que Zadeh venía observando la falta de claridad de los límites de clase, pues en el mundo real los hechos no se ajustaban a la lógica booleana clásica, las matemáticas de verdadero o falso, blanco o negro, cero o uno, que sustenta gran parte de la informática.

El único antecedente que había era un informe técnico de Judah Ben Rosen, titulado Pattern Separation by Convex Programming, publicado en 1963 por los Laboratorios de Matemáticas Aplicadas y Estadística de la Universidad de Stanford.

En el verano de 1964, Bellman y Zadeh decidieron hacer un trabajo científico juntos, en RAND, Santa Mónica, sobre una nueva teoría de grados de membresía y conjunto con fronteras borrosas. Zadeh había tomado julio y agosto para este propósito; su única obligación restante era entregar un documento sobre el reconocimiento de patrones en una conferencia que se llevaría a cabo en la Base de la Fuerza Aérea Wright-Patterson en Daytona, Ohio. Por entonces, Zadeh comentaba:

“Me preocupaba que se suponía que debía dar una charla sobre reconocimiento de patrones. Así que había dos cosas en mi mente que eran la conversación que iba a dar y luego se suponía que tenía que ir a Santa Mónica.”

En el vuelo a Daytona, Zadeh hizo una parada en Nueva York, donde quería encontrarse con sus padres, en el departamento de ellos, para cenar y conversar. Lamentablemente esto no fue posible porque ellos no estaban, y Zadeh se encontró con tiempo libre. Zadeh comentaba:

“Estaba solo y empecé a pensar en algunos de estos problemas. Y fue durante esa noche que se me ocurrió que cuando hablas de patrones y cosas de este tipo lo que hay que hacer es usar el grado de membresía. Lo recuerdo claramente y una vez que tuve la idea, se me hizo muy fácil

desarrollarlo. Así que, volviendo a lo estoy pensando, es muy posible que, si esa cena se hubiera llevado a cabo, no hubiera tenido estas ideas. Debido a que estaba libre, ya sabes, podía pensarlo. Es una de esas cosas, ya sabes, que se te ocurren.”

Llegó el momento de la reunión con Bellman en RAND, la cual duró una semana y contó con la presencia de Robert Kalaba, un discípulo de Bellman. Una vez reunidos, ellos debatieron sobre la clasificación de modelos y los límites de clase. Entonces, para Zadeh, que ya se había inspirado en la casa de sus padres, la idea de los conjuntos difusos surgió como algo muy simple y atractivo.

Reconocer patrones significa decidir si un objeto o sus puntos coinciden o al menos se parecen mucho a un patrón. Tal decisión a menudo no es simple de hacer; es mucho más fácil no comprometerse con una certeza del 100%, sino simplemente dar una respuesta aproximada. Esto, a su vez, significa evaluar gradualmente la membresía de puntos a un patrón y reemplazar la decisión de sí / no con una declaración más suave, vaga y poco clara. A partir de esta pequeña idea, Zadeh desarrolló una teoría matemática cuyos módulos básicos son conjuntos con elementos que son capaces de pertenecer a los conjuntos solo en un cierto grado y funciones que otorgan a estos elementos sus grados de pertenencia a los conjuntos.

El enfoque de Zadeh contó rápidamente con la aprobación de Bellman, quien lo estimuló a profundizar su formalización, que quedó plasmada en octubre de 1964, en el RAND Memorandum RM-4307-PR, "Abstraction and Pattern Classification" (Bellman, Kalaba y Zadeh)¹⁰. No obstante que el trabajo tiene tres autores, fue escrito por Zadeh. Se hace notar que este trabajo contiene las primeras definiciones de la teoría de los conjuntos difusos en un texto científico, es decir, es el prólogo del famoso trabajo "Fuzzy Sets" que Zadeh publicaría al año siguiente.

Más tarde, Zadeh expandió públicamente la idea de conjuntos difusos, en una conferencia dada en Berkeley, en setiembre de 1964. Recién, el 30 de noviembre de 1964, después de algunos retrocesos, terminó el famoso artículo "Fuzzy Sets", y lo envió a Information and Control. Zadeh tenía modestas esperanzas que fuera publicado, debido a lo novedoso del planteo que presentaba el trabajo. Incluso llegó a pensar que su aceptación habría estado influenciada por el hecho que él era miembro del consejo editorial de la publicación. Muchos años después,

¹⁰https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2008/RM4307.pdf (Nov'2017)

Zadeh escribió: "Yo sabía que la palabra 'fuzzy' haría controversial a la teoría."

Este artículo marca un antes y un después en la ciencia. Se puede considerar, sin exageración, que es la piedra angular de la inteligencia artificial. Hoy es uno de los clásicos con mayor cantidad de citas (más de 90.000 al año 2017).

La era del "Soft computing"

En 1991, Zadeh se convierte en profesor emérito de la Universidad de Berkeley. Publica su trabajo sobre "Soft computing" (computación blanda). Soft Computing o SC es una etiqueta para denominar a los paradigmas computacionales que persiguen soluciones aproximadas de problemas que, o bien no admiten por sí mismos una solución precisa por métodos convencionales, o bien se pueden resolver de forma más sencilla o más eficiente explotando la tolerancia inherente tal como imprecisión o incertidumbre. Tales problemas juegan un papel particularmente importante en la concepción y diseño de sistemas expertos, sistemas de control, sistemas de procesamiento de señal, planificación, reconocimiento de la palabra hablada, proceso de lenguaje natural, interpretación de imágenes, visión computacional, robótica y aprendizaje por medio de ejemplos.

Simultáneamente, el depto. de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación, en el que Zadeh terminaba de ser su director, en cooperación con otros deptos. de la Universidad de Berkeley, lanzan una iniciativa llamada BISC (Berkeley Initiative In Soft Computing). El objetivo del BISC es establecer un centro dedicado al SC en el campus de Berkeley, con el propósito de proporcionar una facilidad donde los miembros de Berkeley, y afiliados, puedan integrarse en proyectos de investigación sobre SC y sus aplicaciones. El profesor emérito Zadeh es designado Director del BISC.

En el 2000, Zadeh escribió el prólogo de la obra "Soft Computing y sus Aplicaciones"¹¹, donde formula comentarios relativos a la esencia del softcomputing. Zadeh expresaba:

"¿Qué es soft computing? Para empezar, soft computing, o SC para abreviar, no es una sola metodología. Más bien, es una coalición o consorcio de metodologías que aceptan la realidad de la imprecisión generalizada de lo real mundial, y apuntan a explotar la tolerancia de

¹¹ Aliev, R.A. y Aliev, R.R. (2001)

la imprecisión para lograr maniobrabilidad, robustez y bajo costo de la solución.”

“En esta coyuntura, los principales miembros de la coalición son: Fuzzy Logic (FL); neuro-computación (NC); computación evolutiva (CE); computación probabilística (PC); computación caótica (CC); y aprendizaje de máquina (ML).”

“Una característica esencial del softcomputing es que sus metodologías componentes son, en su mayor parte, complementarias en lugar de competitivas. Por lo tanto, el principio básico del soft computing es que, en general, se obtienen mejores resultados empleando las metodologías constituyentes en combinación, que en un modo independiente. Hoy en día, la combinación que tiene mayor visibilidad es la de los sistemas neuro-fuzzy. Otras combinaciones que crecen en visibilidad son los sistemas neuro-genéticos, neuro-fuzzy-genéticos y sistemas neuro-caóticos. Lo que es muy probable es que, en los próximos años, la mayoría de los sistemas con alta MIQ (Machine Intelligence Quotient) serán sistemas híbridos, es decir, sistemas que logren rendimiento superior mediante el empleo de una variedad de combinaciones de metodologías de softcomputing.”

“En la actualidad, los conceptos principales y técnicas que comprende el softcomputing se encuentran reunidos alrededor de unas cuantas metodologías distintas pero interrelacionadas: lógica fuzzy, teoría de redes neuronales, sistemas de razonamiento probabilístico e ingeniería del conocimiento.”

Como un ejemplo concreto de SC, referiremos a una aplicación de la NASA. En 1997, el JPL (Jet Propulsion Laboratory) envió una misión al planeta Marte, para lo cual diseñó un vehículo especial, llamado Sojourner, que pudiera monitorear el suelo marciano. Se analizó el problema de controlar el rover desde la tierra o con una inteligencia propia. Dado que el lazo de control Marte-Tierra-Marte involucraba un tiempo de 6 a 44 mts, lo cual no era operativo para un suelo rocoso como el marciano, se decidió dotar al rover con un control neuro-fuzzy, es decir, con una inteligencia propia local.¹²

BIBLIOGRAFÍA

Aliev, R.A. y Aliev, R.R (2001). *Soft Computing and its Applications*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.

¹² <https://trs.jpl.nasa.gov/bitstream/handle/2014/16275/00-238.pdf?sequence=1>
(Nov'2017)

- Mendel, J. (2011) Reflections on some important contributions made by Lotfi A. Zadeh that have impacted my own research. *Invited paper. Scientia Iranica D* (2011) 18 (3), 574–579.
- Mitter, S.K. (2011) For Lotfi Zadeh on his 90th birthday. *Correspondence. Scientia Iranica D* (2011) 18 (3), 697–698.
- Seising, R. (2007). *The Fuzzification of Systems. The Genesis of Fuzzy Set Theory and Its Initial Applications – Developments up to the 1970s*, 5. Fuzzy Sets and Fuzzy Systems. Studies in Fuzziness and Soft Computing Vol. 216, Berlin, New York, [et al.]: Springer 2007.
- Seising, R. (2011) From Electrical Engineering and Computer Science to Fuzzy Languages and the Linguistic Approach of Meaning: The non-technical Episode: 1950-1975, *Int. J. of Computers, Communications & Control*, ISSN 1841-9836, E-ISSN 1841-9844 Vol. VI (2011), No. 3 (September), pp. 530-561.
- Trillas, E. (2011) Lotfi A. Zadeh: On the man and his work. *Invited paper. Scientia Iranica D* (2011) 18 (3), 574–579.