

## Conclusiones

Para finalizar el proyecto se presenta un resumen de las principales conclusiones que se han obtenido de la elaboración del mismo.

En primer lugar, hemos de destacar el hecho de que se han satisfecho todos los objetivos inicialmente planteados para el proyecto y cómo a medida que este ha sido desarrollado se han visto ampliados.

Desde el punto de vista teórico se ha intentado realizar un desarrollo lo más claro posible de los principios de la lógica difusa y control difuso. Se han plasmado conceptos matemáticos, definiciones, principios... que permitan al lector introducirse en este apasionante mundo. Como no está muy introducida la lógica difusa en España como en otros países (como Japón o EE.UU) creemos que los capítulos uno y dos pueden servir como introducción a la Lógica Difusa y Control Difuso respectivamente. Se ha enfatizado en la estructura genérica del controlador difuso buscando aclarar todo lo posible cada uno de los bloques que lo forman. Para ello se han expuesto los pasos a seguir a la hora de implementar su funcionamiento desde el punto de vista computacional.

Uno de los pilares de este proyecto ha sido la elaboración de una aplicación informática que permita desarrollar y simular sistemas basados en lógica difusa. Se ha buscado en todo momento la adaptabilidad del mismo a las posibles necesidades de cada usuario y para ello la aplicación responde de forma redimensionable, es decir, el usuario podrá generar sistemas de distintas magnitudes (número de variables, reglas...) y tan sólo esta limitado por la gestión de memoria de su equipo.

La aplicación ha sido desarrollada bajo un entorno lo más ameno posible de forma que permita un cómodo manejo de las distintas opciones implementadas. Este desarrollo ha sido realizado bajo el lenguaje Visual Basic, el cual permite elaborar una aplicación "relativamente" rápida aunque hemos de comentar que quizás hubiera sido mejor, dada la magnitud final de la aplicación, utilizar otra plataforma de desarrollo.

El otro gran pilar de este proyecto ha sido la búsqueda de la implantación de los principios de control difuso en los sistemas de producción agrícola. Sabemos que la lógica difusa permite manipular información imprecisa inherente a un problema y que, como información que es, permitiría una mejor resolución del mismo. Partiendo de este hecho podríamos plantearnos el uso del control difuso como una herramienta más que permita al agricultor, científicos... recopilar toda aquella información de la problemática que los agrupa y obtener resultados productivos. Hoy día, los avances tecnológicos desarrollados entorno a la agricultura han permitido gestionar y desarrollar sistemas de producción cada vez más

eficientes y competitivos. La búsqueda de un avance tecnológico a través del control difuso en este ámbito creemos sería por un lado la aportación de un medio de “almacenamiento” de conocimiento experto, es decir, suministraría la potencialidad de que una “máquina” pudiese servir de soporte de ayuda a la decisión. Por otro lado, creemos que mejoraría los sistemas actualmente implantados de control, pues permitiría el procesamiento de aquella información que aún no siendo totalmente cierta o falsa contiene datos relevantes.

En cuanto a los resultados obtenidos en el ejemplo de aplicación al cultivo de pimientos en un invernadero, podemos concluir que el sistema de control climático diseñado tiene un comportamiento coherente basado en reglas extraídas de un conjunto de expertos.

## Líneas Futuras

Por supuesto todo proyecto es susceptible de ser mejorado, y éste no va a ser una excepción. Es por ello que mencionamos algunos puntos de posibles mejoras:

- ❑ Hacemos mención a las líneas futuras comentadas en el capítulo tercero en donde se exponen algunos puntos de mejora de la aplicación informática.
- ❑ Una buena demostración de la labor desarrollada a través de este proyecto sería la implementación física del sistema de control. Para ello se tendría que elaborar un sistema de adquisición de datos que permita hacer una lectura en tiempo real de las variables de entrada actuando consecuentemente sobre los dispositivos físicos que gestionen las variables de salida. De ésta forma se obtendría una visión real del controlador.
- ❑ Varios son los expertos que han aportado valiosa información al presente proyecto. Creemos que se podría depurar y afinar todavía más de forma que junto a la implementación física, el sistema de control fuese eficiente y viable.
- ❑ En la elaboración del proyecto se ha visto que sería posible enfocarlo no sólo en el desarrollo de sistemas de control difuso sino que permitiría estudiar la aplicación del programa como aproximador de funciones. Por ejemplo, supongamos en el ámbito de la agricultura que una función  $f$  calcula la *evapotranspiración* de un cultivo a partir del tiempo transcurrido desde su plantación. Esa función es compleja de calcular matemáticamente. Sin embargo usando éste programa podría ser factible calcular esa función a partir de reglas simples.

## Referencias Bibliográficas

### A

- [Angel98] D. L. Angel, P. Krost and W. L. Silvert. **"Describing benthic impacts of fish farming with fuzzy sets: theoretical background and analytic methods"**. Journal of Applied Ichthyology, 14:1-8, 1998.
- [Anstrom84] K. Astrom, B. Wittenmark, **"Computer Controlled Systems: Theory and Design"**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1984.

### B

- [Benz76] J.P. Benzécri et coll, **"L`analyse des données"**; Tomo I: **"La Taxinomie"**; Tomo II : **"L`analyse des correspondences"** . Paris, Dunod, 1976.
- [Bezdek81] J. Bezdek: **"Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms"**. Plenum Press, New York, 1981.
- [Bland99] W. L. Bland. **"Toward integrated assessment in agriculture"**. Agricultural Systems, 60: 157-167, 1999.
- [Blishun89] A. F. Blishun. **"Comparative analysis of methods of measuring fuzziness"**. Sov. J. Computers Systems Sci., 27(1):110-126, 1989.
- [Bosserman82] R. W. Bosserman and R. K. Ragade. **"Ecosystems analysis using fuzzy set theory"**. Ecological Modelling, 16:191-208, 1982.
- [Brian99] Brian Siler & Jeff Spotts. : **"Edición Especial Visual Basic 6.0"**. PRENTICE HALL, Madrid, 1999. ISBN: 84-8322-104-7.
- [Bromme92] R. Bromme. **"The Teacher as an Expert: on the Psychology of Profesional Expertise"**. Verlag Hans Huber, Bern, 1992. (in German).

### C

- [Castro91] J. L. Castro. **"La Lógica en la Inteligencia Artificial"**. Algunos aspectos del tratamiento de la información en inteligencia Artificial. Ed: Universidad de Granada, 1991.
- [Cerezo00] Alfonso J. García Cerezo, José Ruiz Gómez, Manuel de la Paz Moya: **"Controladores Borrosos"**. Publicación Interna GCI-01, Departamento de Ingeniería de Sistema y Automática. Universidad de Málaga, 2000.
- [Chameau87] J. L. Chameau and J. C. Santamarina. **"Membership functions I: comparing methods of measurement"**. International Journal of Approximate Reasoning, 1:287-301, 1987.
- [Cordón94] Oscar Cordón García. **"Estudio de Sistema de Inferencia, Métodos de Defuzzificación y Métodos de Ajuste para un Controlador Difuso del Péndulo Invertido"**. Proyecto desarrollado durante una Beca de Iniciación a la investigación. 1994.
- [Cornelissen01] A. M. G. Cornelissen, J. Van den Berg, W. J. Koops, M. Grossman and H. M. J. Udo. **"Assessment of the contribution of sustainability indicators to sustainable development: a novel approach using fuzzy set theory"**. Agriculture Ecosystems and Environment, 86 (2): 173-185, 2001.

- [Cornelissen01A] A. M. G. Cornelissen, J. Van den Berg, W. J. Koops, U. Kaymak. **"Eliciting Expert Knowledge for Fuzzy Evaluation of Agricultural Production Systems"**. Available on the ERIM website: [www.Erim.eur.nl](http://www.Erim.eur.nl), 2001.

## D

- [David92] Editado por David Kirk.: **"Graphics Gems III"**. Parte II – Cap.4 (Interval Arithmetic) AP Professional, 1992.
- [Delgado91] M. Delgado. **"Razonamiento Aproximado"**. Algunos aspectos del tratamiento de la información en inteligencia Artificial. Ed: Universidad de Granada, 1991.
- [Dubois80] D. Dubois, H. Prade. **"Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications"**. Academic Press, NY, 1980.
- [Dubois85] D. Dubois, H. Prade. **"Fuzzy Number. An Overview, the Analisis of Fuzzy Information"**. J.C. Bezdek CRS Press, Boca Raton Fl. USA, 1985.
- [Dubois88] D. Dubois, H. Prade **"Possibility Theory. An Approach to Computerized Processing of Uncertainty"**. Plenum Press, NY, 1988.
- [Dubois91] A. Dubois, D. and Prade, H. **"Basic Issues on Fuzzy Rules and their Application to Fuzzy Control"**. *Proceedings of the IJCAI-91 Workshop on Fuzzy Control*, Sydney, 1001, pp. 5-17, 1991.
- [Driankov96] D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank. **"An Introduction to Fuzzy Control"**. Second Edition Springer, 1996. ISBN 3-540-60691-2.

## F

- [Ford98] D. N. Ford and J. D. Sterman. **"Expert knowledge elicitation to improve mental and formal models"**. *System Dynamics Review*, 14(4):309-340, 1998.
- [Frouws00] J. Frouws and R. van Broekhuizen. **"Developments in dutch animal production: an exploration of policy, market, technology and actors"**. Technical report, Rathenau Instituut, Den Haag, 2000. (in Dutch).

## G

- [Giles88] R. Giles. **"The concept of grade of membership"**. *Fuzzy Sets and Systems*, 25:297-323, 1988.
- [Greenwell88] M. Greenwell. **"Knowledge Engineering for Expert Systems"**. Ellis Harwood, Chichester, 1988.
- [Greenwood01] M. R. Greenwood. **"Community as a stakeholder: focusing on corporate social and environmental reporting"**. *J. Corp. Citizenship*, 4:31-45, 2001.
- [Gupta91A] M. M. Gupta and J. Qi. **"Theory of T-norms and Fuzzy Inference Methods"**. *Fuzzy Sets and Systems*, nº 40, 1991, pp. 431-450.
- [Gupta91B] M. M. Gupta and J. Qi. **"Design of Fuzzy Logic Controllers based on Generalized T-Operators"**. *Fuzzy Sets and Systems*, nº 40, pp. 473-489, 1991.

**H**

- [Hernández00] Joaquín Hernández, Ignacio Escobar, Nicolás Castilla. **"Nivel Tecnológico de los invernaderos en la costa andaluza"**. Finca Experimental "La Nacla" Edita Caja Rural de Granada.
- [Herrera93] F. Herrera, M. Lozano y J.L. Verdegay, **"Algoritmos Genéticos con Parámetros Reales"**. V Congreso de la A. Española de Inteligencia Artificial, CAEPIA'93, pp. 41-50, 1993.

**I**

- [Ichicashi91] H. Ichishashi. **"Iterative fuzzy modeling and a hierachical network"**. V IFSA Congress Vol Engineering. pp 49-52, 1991.

**J**

- [Jonge00] F. H. Jonge and E. A. Goewie. **"For the good of the animal: on the welfare of animals in animal production systems"**. Technical report, Rathenau Instituut, Den Haag, 2000. (in Dutch).

**K**

- [Kosko94] B. Kosko. **"Fuzzy Systems are Universal Approximators"**. IEEE Trans. On Computers, 43(11), pp. 329-332, 1994.
- [Klir95] G. J. klir and B. Yuan. **"Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: theory and applications"**. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1995.
- [Krishnapuram98] R. Krishnapuram. **"Membership function learning and learning"**. In E. H. Ruspini, P. P. Bonissone and W. Pedrycz, editors, Handbook of Fuzzy Computation, pages B3.2:1-11. IOP Publishing, Bristol, 1998.
- [Kruse94] R. Kruse, J. Gebhardt and F. Klawonn, **"Foundations of Fuzzy Systems"**. John Wiley & Sons, 1994. ISBN 0-471-94243X.
- [Kunkel00] H. O. Kunkel. **"Human Issues in Animal Agriculture"**. Texas A&M University Press, College Station, TX, 2000.

**L**

- [Lectric] Lectric law library. <http://www.lectlaw.com/def/e066.htm>.
- [Lee90] C. C. Lee. **"Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controllers"**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, n<sup>o</sup> 20, 1990, Part I pp. 404-435, Part II pp. 419-433, 1990.
- [Leung81] Y. Leung. **"On the exactness of membership functions inf fuzzy set theory"**. Occasional paper no. 18. Department of Geography and Geographical Research Center, The Chinese University of Hong Kong, 1981.
- [Lopez90] R. López de Mántaras. **"Aproximate Reasoning Models"**. Ed. Ellis Hordwoord, 1990.

**M**

- [Magrez89] P. Magrez and P. Smets. **"Fuzzy Modus Ponens: A New Model Suitable for Applications in Knoledge-Based Systems"**. International Journal of Intelligent Systems, Vol. 4, pp. 181-200, 1989.
- [Marsh97] J. S. Marsh. **"The policy approach to sustainable farming systems in the EU"**. Agriculture Ecosystems and Environment, 64: 103-114, 1997.
- [McNeill94] F.M. McNeill and E. Thro, **"Fuzzy Logic: A practical approach"**. AP professional, 1994. ISBN 0-12-485965-8.

- [Mitchell97] R. K. Mitchell, B. R. Agle and D. J. Wood. **"Toward a theory of stakeholder identification and salience: defining the principle of who and what really counts"**. Academy Management Review, 22(4): 853-886, 1997.
- [Mizumoto87] M. Mizumoto. **"Fuzzy Control under various Approximate Reasoning Methods"**. Preprints of Second IFSA Congress, pp. 143-146, 1987.
- [Mohmmd93] J. Mohammd, N. Vadiiee, T.J. Ross, Eds. **"Fuzzy Logic and Control. Software and Hardware Applications"**. Eaglewood Cliffs, NJ:PTR. Prentice Hall, 1993.
- [Munda92] G. Munda, P. Nijkamp and P. Rietveld. **"Multicriteria evaluation and fuzzy set theory: Application in planning for sustainability"**. Research memorandum 1992-68, Free University, Amsterdam, 1992.

---

**N**

- [Nomura91] H. Nomura, I. Hayashi and N. Wakami. **"A Self-Tuning methods of fuzzy control by descent methods"**. V IFSA Congress Vol Engineering. pp 135-138, 1991.
- [Norwich84] A. M. Norwich and I. B. Türksen. **"A model for the measurement of membership and the consequences of its empirical implementation"**. Fuzzy Sets and Systems, 12:1-25, 1984.
- [Nunnally78] J. C. Nunnally. **"Psychometric Theory"**. McGraw-Hill, New York, 1978.

---

**O**

- [OECD] **"Towards sustainable development: indicators to measure progress"**. OECD Publications, Paris.
- [Ogata98] Ogata, Katsuhiko. **"Ingeniería de Control Moderna"** Ed: Prentice Hall, 1998.
- [OMM83] **"Guide to meteorological instrument and observing practiques"**. 5<sup>th</sup> edition, Geneve.

---

**P**

- [Pedrycz98] W. Pedrycz, F. Gomide. **"An introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design"**. A Bradford Book. The MIT Press, Massachusetts, 1998. ISBN 0-262-16171-0.
- [Petry96] F.E. Petry. **"Fuzzy Databases: Principles and Applications"** (with chapter contribution by Patrick Bosc). International Series in Intelligent Technologies. Ed. H.-J. Zimmermann. Lkuwer Academic Publishers (KAP), 1996.
- [Pinstrup98] P. Pinstrup – Andersen and R. Pandya – Lorch. **"Food security and sustainable use of natural resources: a 2020 vision"**. Ecological Economics, 26:1 –10, 1998.

---

**R**

- [Ram96] S. Ram and S. Ram. **"Validation of expert systems for innovation management: issues, methodology and empirical assessment"**. Journal of Product Innovation Management, 13: 53-68, 1996.
- [Rubio03] María del Mar Rubio. **"El Control Climático en un Invernadero"**. F&H – Frutas y Hortalizas", Nº 59 – Año IV.

- [Ruspini98] E. H. Ruspini and E. H. Mamdani. **"Why fuzzy logic?"**. In E. H. Ruspini, P. P. Bonissone and W. Pedrycz, editors, *Handbook of fuzzy computation*, pages A2.1:1-3. IOP Publishing, Bristol, 1998.
- [Ruttan97] V. W. Ruttan. **"Sustainable growth in agricultural production: poetry, policy and science"**. In S. A. Vosti and T. Reardon, editors, *Sustainability, Growth and Poverty Alleviation: a policy and agroecological perspective*. The John Hopkins University Press, Baltimore, 1997.

---

**S**

- [Saaty80] T.L. Saaty. **"The Analytic Hierarchy Processes"**. McGraw Hill, New York, 1980.
- [Safley98] M. Safley. **"How traditional agriculture is approaching sustainability"**. *Biomass & Bioenergy*, 14(4): 329-332, 1998.
- [Schreiber00] G. Schreiber, H. Akkermans, A. Anjewierden, R. de Hoog, N. Shadbolt, W. van de Velde and B. Wielinga. **"Knowledge Engineering and Management: the CommonKADS methodology"**. Mit press, Cambridge, MA, 2000.
- [Sklar83] B. Schweizer, A. Sklar. **"Probabilistic Metric Spaces"**. North-Holland, 1983.

---

**T**

- [Thompson86] P. B. Thompson. **"The social goals of agriculture"**. *Agric. Human Val.*, 3(4):32-42, 1986.
- [Thornton91] P.K. Thornton, J. B. Dent, Z. Y Bacsí. **"A framework for crop growth simulation model applications"**. *Agricultural systems*. 37, 327-340, 1991.
- [Trillas79] E. Trillas. **"Sobre Funciones de Negación en la Teoría de Conjuntos Difusos"**. *Stochastica*, Vol. 3 Nº 1, pp. 47-59, 1979.
- [Trillas85] E. Trillas y L. Valverde. **"On Implication and Indistinguishability in the Setting of Fuzzy Logic"**. J. Kacprzyk, R. R. Yager, Eds., *management Decision Support Systems Using Fuzzy Sets and Possibility Theory* ( Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1985), pp. 198-212.
- [Turban95] E. Turban. **"Decisión Support and Expert Systems"** Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.

---

**U**

- [Urrestarazu00] Obra colectiva coordinada por Miguel Urrestarazu Gavilán, **"Manual de Cultivo Sin Suelo"**. Ed Mundi-Prensa, 2000. ISBN: 84-8240-239-0.

---

**W**

- [Welbank83] M. Welbank. **"A review of knowledge acquisition techniques for expert systems"**. Technical report, Martlesham Consultancy Services, Ipswich, UK, 1983.

---

**Y**

- [Yager80] R. R. Yager, **"On a General Class of Fuzzy Connectives"**. *Fuzzy Sets and Systems*, pp. 235-242, 1980.
- [Yager87] R. R. Yager, S. Ovchinnikov et al.: **"Fuzzy Sets and Applications: Selected Pappars by L. A. Zadeh"**. Wiley Intersc., 1987.

**Z**

- 
- [Zadeh65] L. A. Zadeh. **"Revista científica Information and Control"**. "Artículo Fuzzy Sets". 1965.
- [Zadeh65A] L. A. Zadeh, **"Fuzzy Sets"**. Information Control, 8, pp. 338-353, 1965.
- [Zadeh73] L. A. Zadeh. **"Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decisions processes"**. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 3: 28-44, 1973.
- [Zadeh75] L. A. Zadeh. **"The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning"**. Information Sci., 8, pp. 199-249, pp. 301-357, 9, pp. 43-80, 1975.
- [Zadeh78] L. A. Zadeh. **"Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility"**. Fuzzy Sets and Systems, 1, pp. 3-28, 1978.
- [Zadeh89] L. A. Zadeh. **"Knowledge Representation in Fuzzy Logic"**. IEEE Trans. On Knowledge and Data Engineering, 11(1), pp. 89-100, 1989.
- [Zadeh92] L. A. Zadeh. **"Knowledge Representation in Fuzzy Logic"**. "An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems". Cap. 1. Ed: Kluwer Academic Publisher, 1992.
- [Zadeh94] L. A. Zadeh. **"Fuzzy Logic, Neural Networks and Soft Computing"**. Communications of the ACM, 37(3), pp. 77-84, 1994.
- [Zimm80] H. J. Zimmermann and P. Zysno. **"Latent connectives in human decision making"**. Fuzzy Sets and Systems 4:37-51, 1980.
- [Zimm91] H. J. Zimmermann. **"Fuzzy Set Theory and its Applications"**. 2<sup>nd</sup> Edition. Ed. Kluwer Academic Publishers (KAP), 1991.
- [Zimmer98] H. M. G. van der Werf and C. Zimmer. **"An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system"**. Chemosphere, 36(10):2225-2249, 1998.
- [Zoeteman01] K. Zoeteman. **"Sustainability and nations: tracing stages of sustainable development of nations with integrated indicators"**. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 8: 93-109, 2001.