

La toma de decisiones en la agricultura con empleo de modelos matemáticos difusos

Decision-Making in Agriculture with the Use of Fuzzy Mathematical Models



<http://opn.to/a/Lh8Y6>

MSc. Eduardo R. Veitia Rodríguez ^{I*}, MSc. Yoan Martínez-López ^{II}

^ICentro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, CITMA-Camagüey, Cuba.

^{II}Universidad de Camagüey, Facultad de Informática, Camagüey, Cuba.

RESUMEN: Los beneficios de la producción agrícola para la sociedad y su interacción con el medio ambiente; tienen carácter subjetivo e impreciso por lo que es adecuado para la aplicación de modelos matemáticos de lógica difusa o borrosa. Se quieren describir las posibilidades de aplicación de estas herramientas a la toma de decisiones en la agricultura cubana. En este trabajo se presenta la manera ordenar un conjunto de agrosistemas, de acuerdo con el grado de presencia de un grupo de síntomas del síndrome de sobreutilización del suelo, lo cual permite actuar reestructurando la biodiversidad para minimizar el mecanismo central.

Palabras clave: lógica difusa, síndrome de sobreutilización del suelo, agrosistema, síntoma, modelos matemáticos difusos.

ABSTRACT: The benefits of agricultural production for the society and its interaction with the environment are subjective or imprecise, due to that it is suitable to apply mathematical models of fuzzy logic to that interrelation. It is required to describe the possible applications of these tools to decision-making in Cuban agriculture. This paper refers the way of organizing a group of agrosystems, according to the symptoms of soil overuse syndrome in order to restructure biodiversity to minimize the central mechanism.

Keywords: fuzzy logic, soil overuse syndrome, agro-system, symptom, fuzzy mathematical models.

INTRODUCCIÓN

Los modelos matemáticos basados en principios deterministas o en principios estadísticos, se han utilizado persistentemente en la solución de los más variados problemas de las ciencias naturales y la tecnología, tanto con carácter empírico como teórico ([Matos y Martínez, 2014](#); [Veitia et al., 2014b, 2014a](#); [Martínez et al., 2017](#)). Fenómenos de naturaleza inorgánica o inanimada regidos por leyes de la mecánica, de la física, o de la química, así como fenómenos de naturaleza orgánica o animada a los que se conectan principios y leyes biológicas ya sea con carácter dinámico o estático, han resultado asimilables por estos modelos matemáticos.

Los modelos matemáticos que pretendan describir fenómenos sociales, deberán tener en cuenta entre otros entes, dos tipos de factores que se dan en ellos: los factores objetivos de [Kaufmann y Aluja \(1990\)](#), es decir aquellos que resultan independientes de los sujetos como las condiciones naturales o los recursos materiales existentes y los factores subjetivos, es decir, los que dependen de los modos de pensar y actuar de los humanos, de su conciencia, su voluntad, o sus deseos, por lo que el estudio de fenómenos de carácter eminentemente social no siempre puede abordarse a partir de modelos matemáticos basados en la aritmética de la certidumbre o de la aleatoriedad, debido a que en estos fenómenos la información de que se dispone muchas veces está cargada de subjetividad e incertidumbre.

*Autor para correspondencia: Eduardo R. Veitia-Rodriguez, E-mail: eduardo.veitia@reduc.edu.cu

Recibido: 12/06/2018

Aceptado: 25/02/2019

En [Trillas \(1980, 1992\)](#); [Zadeh \(1992, 1996, 1999\)](#); [Kosko \(1993\)](#), se publican los primeros trabajos sobre subconjuntos borrosos, que en sus inicios no tuvieron gran acogida, pero con el tiempo sus postulados se han ido desarrollando con aplicaciones en la ingeniería y en la esfera económica y de gestión empresarial. En los últimos años han ganado terreno muchos modelos y algoritmos que han ido conformando los cimientos de lo que se ha dado en llamar matemática numérica y no numérica en la incertidumbre ([Zimmermann, 1985](#)). Para ello se ha tomado como fundamento a la lógica difusa con sus variadas interpretaciones, y con estas herramientas se pueden modelar muchos fenómenos de carácter particularmente social donde no resulta muy confiable siquiera asumir ciertas leyes estadísticas para su tratamiento pues la información de que se dispone se encuentra deficientemente estructurada.

La lógica difusa es básicamente una lógica multievaluada que permite valores intermedios para poder definir evaluaciones convencionales como sí/no, verdadero/falso, negro/blanco, etc. Las nociones como "más bien caliente" o "poco frío" pueden formularse matemáticamente y ser procesados por computadoras ([Zadeh, 1992, 1996, 1999](#)). De esta forma se ha realizado un intento de aplicar una forma más humana de pensar en la programación con equipos

de cómputo. La lógica difusa o borrosa sirve como herramienta para la toma de decisiones en tareas de gestión ambiental en los sistemas agrícolas amenazados por el síndrome de sobreutilización del suelo ([Cassel y Petschel, 2010](#); [Schuschny, 2010](#); [Veitia et al., 2014b](#)).

Los síntomas identificados en esta investigación realizada son: mal manejo de materia orgánica, disminución de la biodiversidad, empleo de tecnologías no sostenibles, éxodo rural, aguas contaminadas, poca cobertura vegetal, poca cobertura boscosa, uso de grandes cantidades de fitoquímicos, elevado empleo de agroquímicos, poca experiencia de los agricultores en el trabajo agrícola, insuficiente reciclaje de los residuos de las cosechas, empleo de estándares inadecuados en la producción y el manejo de la humedad de los suelos agrícolas ([Alzate, 2006](#); [Veitia et al., 2014b](#))

El empleo del modelo Big6 [Eisenberg y Berkowitz \(2005\)](#), para la solución de problemas de información; como modelo de competencias en el uso y manejo de la información permitió el desarrollo de los pasos siguientes para la realización del estudio:

Establecer los componentes del problema a resolver y los indicadores asociados.

Evaluar los componentes asociados en una tabla a los indicadores seleccionados para su evaluación (valores entre 0 y 1).

Contar las veces en un componente resulta evaluado igual o superior al que le sigue en una tabla, de esta operación se obtiene número enteros.

Dividir cada número ubicado en una casilla de la tabla resultante del paso "3" entre el número total de indicadores.

Establecer el umbral de los resultados del paso "4"; los valores que sean iguales y mayores asignarle el valor "1" y los menores "0".

Identificación de las fincas a prestarle mayor atención para disminuir los efectos del mecanismo central de síndrome de sobreutilización del suelo.

MÉTODOS

La diferencia esencial, según [Kaufmann et al. \(1986\)](#), entre el concepto de subconjunto y el de subconjunto borroso es la siguiente: para los subconjuntos ordinarios la pertenencia de un elemento del conjunto al subconjunto es de todo o nada, es decir este concepto se adapta perfectamente a la llamada lógica binaria. El concepto de subconjunto borroso resulta más abarcador e incluye como caso particular al de subconjunto simple ya que para el caso borroso se aceptan los matices, es decir cada elemento del conjunto puede pertenecer al subconjunto con un cierto grado o nivel, para lo cual resulta cómodo asociarle a cada subconjunto borroso A una función de pertenencia que se expresa como $\mu_A(x)$ definida para cada x del conjunto universal U de tal manera que $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$.

Si $\mu_A(x)$ toma valores próximos a cero se indica poca pertenencia por parte del elemento x al subconjunto borroso A y valores próximos a 1 indican una alta o elevada pertenencia. Siguiendo

esta idea para cualquier conjunto universal U se puede asociar la noción de subconjunto ordinario con la siguiente función característica de pertenencia:

$$\mu_A(x) = \{0 \text{ si } x \text{ no pertenece a } A, 1 \text{ en otro caso}\} \quad (1)$$

Para los subconjuntos borrosos, la función de pertenencia puede ser continua o discreta atendiendo a las características que se quieran destacar con el subconjunto borroso, como se observa en la [Figura 1](#).

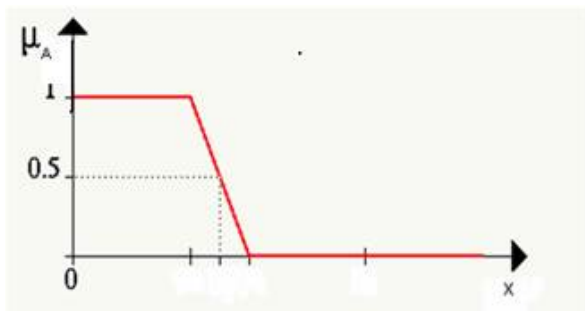


FIGURA 1. Representación de un “Conjunto Borroso”.

Para tomar decisiones con criterios científicos se requiere muchas veces la modelación matemática del problema y para ello puede combinarse el enfoque determinista [Gil-Aluja \(1999\)](#), con el estadístico y con el difuso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Gestión ambiental en la agricultura

El modelo matemático empleado en la investigación fue propuesto por [Gil-Aluja \(1999\)](#), el cual permite el ordenamiento de un conjunto $E1 = \{P1, P2, \dots, Pm\}$ de m elementos a partir de otro conjunto $E2 = \{C1, C2, \dots, Cn\}$ de n características o cualidades que forman los criterios para el ordenamiento.

Al utilizar el modelo de [Gil-Aluja \(1999\)](#), fueron considerados un conjunto E1 formado por las seis fincas que componen el agrosistema “La Esperanza” y un grupo E2, los que constituían los indicadores para evaluar la presencia del síndrome de Sobre-utilización del suelo. Estos conjuntos fueron los siguientes: $E1 = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6\}$ y $E2 = \{C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11\}$.

Los indicadores (Cn) fueron descritos de la forma siguiente: mal manejo de la materia orgánica(C1), disminución de la biodiversidad(C2), empleo de tecnologías no sostenible(C3), éxodo rural(C4), aguas

contaminadas(C5), poca cobertura vegetal(C6), poca cobertura boscosa(C7), uso de grandes cantidades de fitoquímicos(C8), elevado empleo de agroquímicos(C9), poca experiencia de los agricultores en el trabajo agrícola(C10) e insuficiente reciclaje de los residuos de las cosechas(C11) ([Veitia et al., 2014a](#)). Por otro lado, como los agrosistemas pueden estar compuestos por varias parcelas o fincas, para el caso 6, razón por la cual el grupo E1 está integrado por estos 6 subsistemas (Parcela1, Parcela2, Parcela3, Parcela4, Parcela5 y Parcela6), que constituye la Pm.

A continuación se procede a diagnosticar el agrosistema con el empleo de 13 expertos y 6 obreros agrícolas, con la siguiente composición: 6 doctores en ciencias agrícolas, 6 especialistas en suelos; organizándose en grupo de a 3 por parcelas. Estos grupos constituidos por 1 doctor en Ciencias agrícolas, 1 especialista en suelos y 1 obrero agrícola con nivel medio y con más de 10 años de experiencia en el lugar y como coordinador de grupo 1 doctor en ciencias ambientales, los cuales evaluaron la presencia de los indicadores (síntomas del síndrome sobreutilización del suelo). En la selección del grupo de expertos se empleó el método DELPHI, seleccionándose 19.

A los que se les entregó una tabla como el fragmento que se representa en el esquema siguiente:

Indicador	Parcela			
	P1	P2	Pm
C1				
C2				
...				
Cn				

En la que los miembros del grupo de trabajo reflejaron la evaluación considerada para cada indicador, en el intervalo 0 y 1.

Después, los evaluadores entregaron sus resultados al coordinador de grupo, el que calculó la media aritmética estos por cada indicador en cada finca, con una aproximación a un lugar decimal. Obteniéndose los primeros resultados que se muestran en la [Tabla 1](#):

A partir de la [Tabla 1](#) se pudieron identificar los síntomas que más afectan al agrosistema y las

fincas más impactadas por el síndrome de sobreutilización del suelo.

De los resultados del empleo de este modelo matemático en el análisis de la presencia del síndrome de sobreutilización del suelo, para lo cual fueron evaluados 11 indicadores, llegando a las siguientes conclusiones: que el agrosistema “La Esperanza” está muy impactado por el síndrome de sobreutilización del suelo, puesto que el 68.49 % del territorio estudiado está afectado, por este impacto del cambio global y los síntomas con mayor presencia en el sistema: uso de grandes cantidades de fitoquímicos (C8), elevado empleo de agroquímicos(C9), y poca experiencia de los agricultores en el trabajo agrícola(C10).

Considerando los resultados del grupo de expertos, se realizó una valoración de los efectos del síndrome de sobreutilización del suelo de acuerdo a los tipos de suelos presentes en el sistema; como son ferralítico púrpura típico(S1), ferralítico pardo rojizo(S2), ferralítico púrpura concrecionario(S3), ferralítico púrpura laterizado (S4), ferralítico púrpura hidratado (S5), ferralítico rojo típico (S6), ferralítico rojo concrecionario (S7), ferralítico rojo compactado (S8), ferralítico

rojo hidratado (S9), ferralítico rojo poco liviado (S10) [Hernández \(2006\)](#); [Hernández et al. \(2013\)](#); cuya distribución en el agrosistema es como se presenta en la [Tabla 2](#).

A modo de conclusión se tienen que el suelo más afectado en el agrosistema es el S6, que ocupa una superficie de 10 hectáreas, el medianamente afectado es S1, y los menos S2, S10, S9, S5, S8, S7, S3, S4.

Partiendo de esta matriz que representa el grado que cumple el indicador en el agrosistema, se forma la matriz del grado de afectación de un agrosistema con respecto al otro, en dependencia de los criterios de los expertos, como se muestra en la [Tabla 3](#).

Donde se muestra el nivel de afectación entre un mismo agrosistema.

Si se divide el valor de cada elemento de la matriz entre el total de indicadores $T = 11$, se obtiene la matriz de cociente K, [Tabla 4](#).

Si se toma un umbral (Um), $Um = 0.7$, y aplicando la siguiente función a los elementos de la matriz:

$$B = \{0 \text{ si } P_{ij} < Um, 1 \text{ si } > = Um\} \quad (2)$$

Se obtiene una matriz binaria J, [Tabla 5](#).

TABLA 1. Resultados de la evaluación el síndrome sobreutilización del suelo por los expertos

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Total	Ranking	Síntomas
C1	0.4	0.3	0.6	0.9	0.7	0.6	3.5		9
C2	0.5	0.6	0.9	0.8	0.6	0.5	3.9		6
C3	0.6	0.5	0.7	0.6	0.5	0.7	3.6		8
C4	0.5	0.7	0.6	0.5	0.6	0.8	3.7		7
C5	0.9	0.8	0.7	0.3	0.5	0.4	3.6		8
C6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.9	3.6		8
C7	0.8	0.7	0.6	0.9	0.6	0.5	4.1		5
C8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	5		1
C9	0.7	0.9	0.8	0.7	0.9	0.9	4.9		2
C10	0.6	0.7	0.8	0.9	0.8	0.9	4.7		3
C11	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.6	4.6		4
Total	7.4	7.3	7.8	7.6	7.4	7.7	45.2		
Ranking Parcelas	4	5	1	3	4	2			

TABLA 2. Las parcelas y los tipos de suelos presentes

Parcelas	Tipos de suelos presentes	Suelos predominantes
P1	S1, S2, S6, S10	S6
P2	S6, S9, S2, S5	S6
P3	S6, S5, S8, S1	S6
P4	S7, S10, S9, S6	S10
P5	S4, S1, S7, S3	S1
P6	S9, S10, S5, S1	S9

TABLA 3. Grado de afectación de un agrosistema con respecto a otro agrosistema

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	X	6	5	6	7	6
P2	6	X	6	6	8	6
P3	8	5	X	5	8	6
P4	5	5	4	X	6	7
P5	5	5	4	3	X	6
P6	8	6	4	4	4	X

TABLA 4. Cocientes de las divisiones de los grados de afectaciones y el total de indicadores (síntomas)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	X	0.54	0.45	0.54	0.63	0.54
P2	0.54	X	0.54	0.54	0.72	0.54
P3	0.72	0.45	X	0.45	0.72	0.54
P4	0.45	0.45	0.36	X	0.54	0.63
P5	0.45	0.45	0.36	0.27	X	0.54
P6	0.72	0.54	0.36	0.36	0.36	X

TABLA 5. Registro de la conversión de los cocientes menores, iguales o superiores al umbral

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
P1	X	0	0	0	0	0
P2	0	X	0	0	1	0
P3	1	0	X	0	1	0
P4	0	0	0	X	0	0
P5	0	0	0	0	X	0
P6	1	0	0	0	0	X

Donde para obtener una matriz reducida K, se le realiza los siguientes pasos:

1. El primer lugar en el ordenamiento lo forman los P_i para los cuales toda la columna de la matriz está formada por la mayor cantidad de elementos con valor cero, en este caso $\{P_2, P_1, P_4, P_5\}$
2. El último lugar en el ordenamiento lo forman los P_j para los cuales toda la fila de la matriz está formada por la mayor cantidad de elementos con valor cero, en este caso $\{P_1, P_4, P_5\}$.
3. Se eliminan las columnas como las filas que cumplen los pasos 1 y 2 de la matriz J y se repite el proceso, tanto lugares se desea obtener.

Aplicando este procedimiento a la matriz J, se obtuvo el siguiente ordenamiento $\{P_2, P_1, P_4, P_5\} < \{P_3, P_6\}$, Donde el orden lo determinan el

conjunto de columnas eliminadas en cada iteración.

En este lo que se debe prestar mayor atención a P_3 y P_6 , por ser la de mayor grado de afectación, según el ordenamiento realizado. Esto permite que se pueda para tomar las decisiones correspondientes en cuanto a la intervención dirigida a mejorar la sostenibilidad ambiental de los suelos de los agrosistemas, para el síndrome de sobreutilización del suelo.

CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se muestra la aplicación de una herramienta, como instrumento matemático de fácil aplicación a las problemáticas de la sostenibilidad ambiental de los suelos agrícolas que requieran la toma de decisiones, basada en la lógica difusa (fuzzy logic), lo cual permite identificar los suelos que están afectados en menor, mediana o mayor cuantía por el mecanismo central del síndrome de

sobre-utilización del suelo, en este caso, el más afectado es el ferralítico rojo típico, medianamente afectado el ferralítico púrpura típico y los menos afectados: ferralítico pardo rojizo, ferralítico púrpura concrecionario, ferralítico púrpura laterizado, ferralítico púrpura hidratado, ferralítico rojo concrecionario, ferralítico rojo compactado, ferralítico rojo hidratado, ferralítico rojo poco liviado. Los resultados obtenidos indican que el síndrome sobreutilización del suelo está presente en el agrosistema en 68.49% de su superficie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALZATE, B.: *Indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generación en la gestión ambiental sistémica*, Universidad de Colombia, PhD. Thesis, Colombia, 2006.
- CASSEL-GINTZ, M.; PETSCHER-HELD, G.: "GIS-based assessment of the threat to world forests by patterns of non-sustainable civilisation nature interaction", *Journal of Environmental Management*, 59(4): 279-298, 2010, ISSN: 0301-4797.
- EISENBERG, M.; BERKOWITZ, B.: "El modelo Big6 para la solución de problemas de información", *Diplomado de Gestión de la Información en Salud. Módulo I*, : 29-36, 2005.
- GIL-ALUJA, J.: *Elements for a theory of decision in uncertainty*, Ed. Springer Science & Business Media, vol. 32, Madrid, España, 1999, ISBN: 84-605-9437-8.
- HERNÁNDEZ, A.: *Correlación de la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba con las clasificaciones nacionales e internacionales*, Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, Cuba, 65 p., 2006.
- HERNÁNDEZ-ESCOBAR, I.; URRÁ-ZAYAS, I.; DÍAZ-VIRULICHE, L.; PÉREZ-PETITÓN, J.; HERNÁNDEZ- CUELLO, G.: "Labranza mínima y efecto alelopático en la producción de frijol común en la Empresa Agropecuaria 19 de Abril de la provincia Mayabeque", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(3): 46-48, 2013, ISSN: ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- KAUFMANN, A.; ALUJA, J.G.: *Las matemáticas del azar y de la incertidumbre: elementos básicos para su aplicación en economía*, Ed. Centro de Estudios Ramón Areces, Madrid, España, 1990, ISBN: 84-87191-26-6.
- KAUFMANN, A.; GIL-ALUJA, J.; PIRLA, J.M.F.: *Introducción de la teoría de los subconjuntos borrosos a la gestión de las empresas*, Ed. Milladoiro, Madrid, España, 1986, ISBN: 84-398-7630-0.
- KOSKO, B.: *Pensamiento borroso*, Ed. Crítica (Grijalbo Mondadori), Barcelona, España, 1993, ISBN: 84-7423-698-3.
- MARTÍNEZ, L.Y.; GARCÍA, M.; BELLO, P.R.; FALCÓN, M.R.; CABRERA, B.X.: "Sistema experto para el tratamiento de aguas residuales (SECTRARES)", *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(3): 51-55, 2017, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- MATOS, R.N.; MARTÍNEZ, L.J.: "La inteligencia artificial. Nuevo enfoque en la evaluación de las máquinas en el complejo cosecha-transporte-recepción de la caña de azúcar", *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(2): 60-64, 2014, ISSN: 2306-1545, e-ISSN: 2227-8761.
- SCHUSCHNY, A.: "La metodología de los" Síndromes de Cambio Global": un abordaje para estudiar la sostenibilidad del desarrollo", *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 17(Setembro), 2010.
- TRILLAS, E.: *Conjuntos borrosos: XI X2*, Ed. Vicens vives, Barcelona, España, 1980, ISBN: 84-316-1886-8.
- TRILLAS, E.: "La lógica borrosa", *Aplicaciones de la lógica borrosa, Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, : 1-14, 1992.
- VEITIA, R.E.R.; MARTÍNEZ, L.Y.; MONTALBÁN, E.A.; MARTÍNEZ, L.Y.: "Aplicación de la lógica difusa en la toma de decisiones para la sostenibilidad del suelo", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3): 31-36, 2014a, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.
- VEITIA, R.E.R.; MONTALVÁN, E.A.; MARTÍNEZ, L.Y.: "Elección de indicadores sistémicos para la sostenibilidad ambiental del

suelo”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4): 43-50, 2014b, ISSN: 1010-2760, e-ISSN: 2071-0054.

ZADEH, L.A.: “Representación del conocimiento en lógica borrosa”, *Aplicaciones de la lógica borrosa*, 20: 51, 1992.

ZADEH, L.A.: “Nacimiento y evolución de la lógica borrosa, el soft computing y la computación con palabras: un punto de vista personal”, *Psicothema*, 8(2): 421-429, 1996.

ZADEH, L.A.: “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility”, *Fuzzy sets and systems*, 100(1): 9-34, 1999, ISSN: 0165-0114.

ZIMMERMANN, H.J.: *Fuzzy sets and its applications. Operations Research*, Ed. Nijhoff Publishing, Boston, USA, 1985, ISBN: 978-94-010-0646-0.

Eduardo R. Veitia Rodríguez, Investigador Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey. CITMA, Camagüey, Cuba. Tel. 262273, 261657. e-mail: eduardo.veitia@reduc.edu.cu

Yoan Martínez-López, e-mail: eduardo.veitia@reduc.edu.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.