

SIA2: Una propuesta de Sistema Inteligente de Alertas para la Seguridad Industrial Agroalimentaria

E. López González¹, C. Mendaña Cuervo², C. Caño Alegre¹, B. González Pérez¹

¹ Dpto. de Dirección y Admón. de Empresas. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Campus de Vegazana, 24071 León. dde{elg,cmc,cca,bgp}@unileon.es

Resumen

El principal objetivo del presente trabajo va a ser construir un sistema inteligente soportado en un marco teórico (sistemas basados en reglas borrosas) e implementado en el entorno de desarrollo Xfuzzy 3.0 totalmente operativo, de forma que sea posible la modelización de un sistema experto que sirva de detección de Alertas de la Seguridad Agroalimentaria.

Palabras clave: Sistemas expertos borrosos, computación flexible, control, fabricación, industrias agroalimentarias.

1. Introducción

"Del campo a la mesa": con esta frase, los organismos encargados de velar por la Seguridad Alimentaria en la Unión Europea junto con la OMS y la FAO, quieren expresar que el control llevado a cabo sobre los alimentos, es una responsabilidad que atañe a todos los participantes de la cadena alimentaria, desde los productores primarios (agricultores, ganaderos) a los procesadores, envasadores, transportadores, almacenadores, puntos de venta y por último a los consumidores, y que por tanto, las medidas concernientes a la vigilancia y control de dicha seguridad alimentaria, deben cubrir exhaustivamente todas y cada una de estas etapas, de manera que quede garantizada la inocuidad de todos y cada uno de los alimentos que llegan a la mesa del consumidor.

Para lograrlo, se requiere que se cumplan las normativas de higiene, manipulación y calidad por parte de las personas y empresas responsables del alimento en cada una de sus etapas. Las administraciones, tanto nacionales como locales, ofrecen a cada una de las partes implicadas en cada etapa, no solo asesoría para la ejecución de medidas de seguridad y control, sino que además tienen la obligación de vigilar su cumplimiento y realizar auditorías de seguridad y calidad de los alimentos.

Las medidas de control de la inocuidad y la calidad, varían según la etapa en que se encuentra el alimento y también según las características de dicho alimento. Comprenden desde las llamadas "Buenas Prácticas Agrícolas" (BPA) relativas por ejemplo y entre otras muchas cosas, al uso de pesticidas, control de plagas, etc. así como el sistema de control de la higiene en la manipulación de alimentos, un sistema adoptado internacionalmente y obligatorio en la Unión Europea desde Enero 2004, denominado HACCP (Sistema de Análisis Riesgos y Puntos de Control Crítico, en español ARPCC). Otra práctica que se debe adoptar es informar al siguiente eslabón de la cadena alimentaria, de todos los datos pertinentes en relación con la inocuidad de los alimentos.

Por su parte, desde la FAO se propugna la aplicación del denominado "modelo holístico", que hace recaer la responsabilidad de la inocuidad alimentaria en todos y cada uno de los responsables de las distintas etapas por las que pasa el alimento, a diferencia del modelo anterior, que situaba la responsabilidad principalmente en los productores primarios.

Respecto a la higiene de los alimentos, las medidas a aplicar están recogidas en el "Codex Alimentarius" (<http://www.codexalimentarius.net>) abarcan la construcción de las instalaciones, el control de operaciones (temperaturas, suministro de agua, materia prima), la higiene del personal manipulador, etc.

En todo caso, conviene resaltar que la filosofía de las mejores prácticas es la de utilizar los sistemas de seguridad agroalimentaria como herramientas de mejora continua, no como un argumento de castigo, tanto para trabajadores como proveedores, o como una exigencia de la legislación. No obstante, su implementación no es sencilla, pues, existen numerosos problemas que pueden surgir a lo largo de este proceso, entre los que cabe destacar dos principales: resistencia de los trabajadores y directivos al cambio y alto coste. El primero se plasma, por ejemplo, en que el nuevo sistema implica llevar a cabo una auditoría interna de cada departamento, lo cual siempre implica recelos. El segundo implica que implementar un sistema de auditoría de seguridad a tiempo real supone invertir mucho dinero en una actividad que no es productiva de forma directa, lo cual hace que sea más difícil "convencer" sobre su conveniencia.

Sin embargo, en la actualidad la seguridad industrial agroalimentaria se ha convertido en una exigencia, no en una simple estrategia de diferenciación. Lo que sí puede servir para distinguirse de la competencia es la eficiencia en el cómo se consigue la trazabilidad. Así, por ejemplo, la trazabilidad es una herramienta de gestión que permite seguir la ruta del producto, y nos permite mejorar la gestión de costes, la gestión de operaciones, analizar los costes de actividades. Por tanto, la trazabilidad no debe ser vista como un incordio, un engorro para los fabricantes, cuando realmente puede proporcionar una ventaja, armas para saber qué es lo que está ocurriendo en el proceso industrial agroalimentario.

De forma sintética, cabe describir la estructura de este trabajo resumiendo brevemente los contenidos de los diferentes apartados. En el apartado 2 se introduce la motivación y objetivos principales del esfuerzo investigador. En el apartado 3 se presenta una visión global de los aspectos teóricos y una metodología general de construcción de los SBRBs. En el apartado 4 se desarrollan las consideraciones anteriores en su aplicación al problema de la detección de intrusos de sistemas de información, detallando las peculiaridades propias que conlleva la construcción de un SBRB para la auditoría y seguridad informática, para lo cual su implementación práctica será llevada a cabo mediante la aplicación del entorno Xfuzzy3.0. Finalmente, en el apartado 5 se presentan las principales conclusiones del trabajo realizado, así como se indican alguna línea de investigación y desarrollo futura.

2. Objetivos e hipótesis de la investigación

En el presente trabajo se pretende llevar a cabo un enfoque novedoso en la resolución de uno de los principales problemas de seguridad industrial agroalimentaria, el autocontrol de la industria alimentaria.

En un intento de formalizar este fenómeno, parece evidente que la tendencia natural, basada en la representación en términos de certeza de la información disponible, parece alejarse de lo que la propia realidad demanda. Así, se han empleado técnicas estocásticas, más como una solución suplementaria ante la ausencia de otras, que si bien se muestran como herramientas poderosas para determinados problemas pierden capacidad representativa cuando la información disponible posee altos niveles de subjetividad o vaguedad. De ahí que ante la escasa capacidad de estos modelos para ayudar a la toma de decisiones en entornos

cambiantes o turbulentos, cabe plantearse la aplicación de la Lógica Borrosa, máxime si se tiene en cuenta que aparejados con ellas se han elaborado un conjunto de técnicas operativas que permiten llevar a cabo los procesos de la toma de decisiones en situaciones caracterizadas por la incertidumbre, en las que cada vez más a menudo pueden encontrarse los responsables e la detección de intrusos.

En efecto, con la Lógica Borrosa se hace posible el tratamiento tanto de lo subjetivo como de lo incierto, en un intento por representar los fenómenos tal como se muestran en la realidad y de llevar a cabo su tratamiento sin intentar deformarlos o hacerlos precisos o ciertos, de ahí que su aplicación permita realizar un claro cambio de mentalidad, pasando de la utilización de las herramientas disponibles a contar con una "nueva caja de instrumentos" que suministre rigor en el razonamiento secuencial (aproximado), y operatividad práctica ante condiciones de incertidumbre. De esta forma, parece comúnmente aceptado que el empleo del control borroso es recomendable: (i) para procesos muy complejos, cuando no hay un modelo matemático simple.; (ii) en el caso de procesos altamente no lineales; o (iii) si el procesamiento del conocimiento experto (lingüísticamente formulado) puede ser desempeñado. Mientras que, por otro lado, la utilización del control borroso no es una buena idea si: (i) el control convencional teóricamente rinde un resultado satisfactorio; (ii) existe un modelo matemático fácilmente soluble y adecuado; o (iii) el problema no es soluble.

De acuerdo con lo anterior, la principal hipótesis de este trabajo es que la Lógica Borrosa es capaz de producir "mejores" reglas que incrementen la flexibilidad y robustez de las tecnologías inteligentes. Los Sistemas Basados en Reglas Borrosas (SBRBs) han demostrado ser una herramienta eficaz en problemas de control, clasificación o modelado ante contextos donde la información y/o los datos están afectados de imprecisión no probabilística, lo que justifica nuestra iniciativa por elaborar una propuesta original de Sistema Inteligente para la Seguridad Industrial Agroalimentaria. Además también se plantea la problemática de homogeneizar la forma en que serán evaluados los sistemas de autocontrol, pues, estos solo son definidos genéricamente por el "Libro Blanco de la Unión Europea sobre Seguridad Alimentaria", y se implementan según el criterio de cada industria; para ello, la solución que será propugnada en nuestro estudio al problema de homogeneización se basará en la generalización de un conjunto de planes que tratan de cubrir todos los requerimientos básicos marcados desde la cadena de producción a la de comercialización.

En consecuencia, en este trabajo se va a construir un sistema que esté soportado en un marco teórico (sistemas basados en reglas borrosas) e implementado en un entorno de desarrollo (Xfuzzy 3.0) totalmente operativo, de forma que sea posible la modelización de un Sistema Experto que sirva de detección de alertas de interés en la Seguridad Agroalimentaria.

3. Aspectos teóricos de los SBRBs

Una de las áreas de aplicación más importantes de la Lógica Borrosa la componen los Sistemas Basados en Reglas Borrosas (SBRBs). Este tipo de sistemas constituyen una extensión de los sistemas de reglas basados en Lógica Clásica, pues emplean reglas de tipo "Si-entonces" en las que los antecedentes y consecuentes están compuestos por proposiciones borrosas en lugar de proposiciones de la Lógica Clásica.

En un sentido muy general, un SBRB es un sistema basado en reglas en el que la Lógica Borrosa puede ser empleada tanto como herramienta para representar distintas formas de conocimiento sobre el problema a resolver, como para modelar las interacciones y relaciones existentes entre las variables del mismo. Entre las principales aplicaciones de estos sistemas inteligentes son el modelado borroso de sistemas (BARDOSSY y DUCKSTEIN, 1995; PEDRYCZ, 1996) y el control borroso (DRIANKOV, HELLENDORN y REINFRANK, 1993; HIROTA, 1993 y WANG, 1992).

El modelado borroso de sistemas puede ser considerado como una aproximación para modelar un sistema haciendo uso de un lenguaje de descripción basado en Lógica Borrosa con predicados borrosos (SUGENO y YASUKAWA, 1993).

En cambio, los controladores borrosos consisten en un enfoque para la monitorización de procesos donde la estrategia de control aplicada está basada en la experiencia del operador humano representada en forma de reglas lingüísticas de control.

En este apartado se tratará de introducir las nociones básicas de los SBRBs para control borroso, su composición y funcionamiento, para facilitar el posterior estudio de las tareas de construcción que es necesario llevar a cabo para obtenerlos, sin detenerse en la consideración de los principios básicos de la Lógica Borrosa que pueden ser consultados, entre otros, en los trabajos de KLIR y YUAN (1995) o ZIMMERMAN (1996).

El primer modelo de SBRB que trabajó con entradas y salidas reales fue propuesto por MAMDANI (1974), siendo capaz de plasmar las ideas preliminares de ZADEH (1973) en una aplicación de control de una planta de elaboración de cemento. Este tipo de Sistemas Borrosos, los más utilizados desde aquella fecha, se conocen también por el nombre de SBRBs con Fuzzificador y Defuzzificador o Controladores Borrosos (CBs), denominación acuñada por MAMDANI y ASSILIAN (1975) y empleada comúnmente en el ámbito de los sistemas de ingeniería.

Las reglas son del tipo "Si - entonces" y en el caso de que el SBRB tenga múltiples entradas y una única salida, presentaría la siguiente estructura: "Si X_1 es A_1 y ... y X_n es A_n entonces Y es B ", donde X_i e Y son variables lingüísticas de entrada y salida, respectivamente, y los A_i y B son etiquetas lingüísticas asociadas a dichas variables.

Los SBRBs emplean un Sistema de Inferencia que efectúa el Razonamiento Borroso teniendo en cuenta la información contenida en una Base de Conocimiento (BC). Los componentes que dotan al sistema de la capacidad de manejar entradas y salidas reales son los Interfaces de Borrosificación y Clarificación. El primero establece una aplicación entre puntos precisos en el dominio U de las entradas del sistema y conjuntos borrosos definidos sobre el mismo universo de discurso, mientras que el segundo realiza la operación inversa estableciendo una aplicación entre conjuntos borrosos definidos en el dominio V de las salidas y puntos precisos definidos en el mismo universo.

Conviene poner de manifiesto que cualquier SBRB presenta una serie de características particulares, a saber: Por un lado, proporciona un marco natural para incluir conocimiento experto en forma de reglas lingüísticas y permite combinar éste con reglas obtenidas a partir de ejemplos del comportamiento del sistema de un modo muy sencillo. Por otro, presenta una gran libertad a la hora de elegir los Interfaces de Borrosificación y Clarificación, así como el Sistema de Inferencia, de tal forma que permite diseñar el SBRB más adecuado para un problema concreto, aspecto que constituye el principal objeto de atención de este apartado.

A este respecto, la figura 1 muestra la estructura general de los SBRBs.

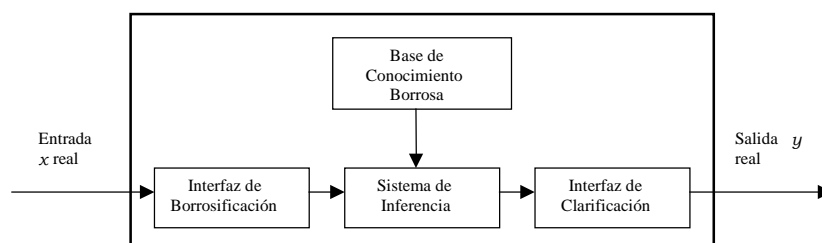


Figura 1. Estructura general de los SBRBs.

Como se puede observar en la figura anterior, un SBRB está formado por los siguientes componentes: (i) una Base de Conocimiento, que contiene las reglas lingüísticas que guían el

comportamiento del mismo; (ii) un Interfaz de Borrosificación, que se encarga de transformar los datos precisos de entrada en valores manejables en el proceso de razonamiento borroso, es decir, en algún tipo de conjunto borroso; (iii) un Sistema de Inferencia, que emplea estos valores y la información contenida en la Base de Conocimiento para llevar a cabo dicho proceso; y (iv) un Interfaz de Clarificación, que transforma la acción borrosa resultante del proceso de inferencia en una acción precisa que constituye la salida global del SBRB.

3.1. La base de conocimiento

La Base de Conocimiento (BC) es la parte esencial del control borroso desde el punto de vista de que los restantes tres componentes del sistema se emplean para interpretar las reglas contenidas en ella y hacerlas manejables en problemas concretos.

La BC está formada a su vez por dos componentes distintos: la Base de Reglas lingüísticas y la Base de Datos:

La Base de Reglas lingüísticas (BR) está formada por un conjunto de reglas lingüísticas de tipo "Si - entonces" que, en el caso de SBRBs con múltiples entradas y una única salida, presentan la siguiente estructura: Si X_1 es A_1 y ... y X_n es A_n entonces Y es B .

La BR está compuesta por una serie de reglas de este tipo unidas por el operador Y (AND), lo que indica que incluso todas ellas pueden dispararse (en paralelo o simultáneamente) ante una entrada concreta.

La estructura de una regla lingüística puede ser más general si se emplea otro conectivo u operador de conjunción en lugar del Y (AND) para relacionar las variables de entrada en el antecedente, si bien es lo suficientemente general como para incluir otras. Debido a este hecho, y a su simplicidad, no resulta extraño que este tipo de reglas sean las más utilizadas en la literatura especializada.

La Base de Datos (BD) contiene la definición de los conjuntos borrosos asociados a los términos lingüísticos empleados en las reglas de la BR, así como los valores de los factores de escala que transforman el universo de discurso en que están definidas las variables de entrada y salida del sistema.

3.2. El interfaz de borrosificación

Este componente es uno de los que permite al SBRB manejar entradas y salidas reales. Su tarea es la de establecer una aplicación que haga corresponder un conjunto borroso definido en el universo de discurso de la entrada en cuestión a cada valor preciso del espacio de entrada.

Así, el Interfaz de Borrosificación trabaja de la siguiente forma: $A' = F(x_0)$, donde x_0 es un valor preciso de entrada al BC definido en el universo de discurso U , A' es un conjunto borroso definido sobre el mismo dominio U y F es un operador de Borrosificación.

3.3. El sistema de inferencia

El Sistema de Inferencia es el componente encargado de llevar a cabo el proceso de inferencia borrosa, para lo cual hace uso de principios de la Lógica Borrosa para establecer una aplicación entre conjuntos borrosos definidos en $U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$ y conjuntos borrosos definidos en V (donde U_1, \dots, U_n y V son los dominios en los que están definidas las variables de entrada X_1, \dots, X_n y la de salida Y , respectivamente).

El proceso de inferencia borroso está basado en la aplicación del Modus Ponens Generalizado, extensión del Modus Ponens de la Lógica Clásica propuesta por ZADEH según la siguiente expresión (ZADEH, 1973):

Si X es A entonces Y es B

X es A'

Y es B'

Para llevar a la práctica esta expresión es necesario primero interpretar el tipo de regla que emplea el SBRB. Una regla con la forma "Si X es A entonces Y es B" representa una relación borrosa entre A y B definida en $U \times V$. Dicha relación borrosa se expresa mediante un conjunto borroso R cuya función de pertenencia $\mu_R(x,y)$ presenta la forma:

$$\forall x \in U, y \in V: \mu_R(x,y) = I(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (1)$$

donde $\mu_A(x)$ y $\mu_B(y)$ son las funciones de pertenencia de los conjuntos borrosos A y B, respectivamente, e I es un operador de implicación borroso que modela la relación borrosa existente.

La función de pertenencia del conjunto borroso B', resultante de la aplicación del Modus Ponens Generalizado, se obtiene a partir de la Regla Composicional de Inferencia (RCI), desarrollada en el trabajo de ZADEH (1973) de la siguiente forma: "Si R es una relación borrosa definida de U a V y A' es un conjunto borroso definido en U, entonces el conjunto borroso B', inducido por A', viene dado por la composición R y A'", esto es, $B' = A' \circ R$.

De esta forma, cuando la RCI se aplica sobre reglas cuyo antecedente está formado por n variables de entrada y cuyo consecuente presenta una única variable de salida toma la siguiente expresión:

$$\mu_{B'}(y) = \text{Sup}_{x \in U} \{ T'(\mu_{A'}(x), I(\mu_A(x), \mu_B(y))) \} \quad (2)$$

donde $\mu_{A'}(x) = T(\mu_{A'1}(x), \dots, \mu_{A'n}(x))$, $\mu_A(x) = T(\mu_{A1}(x), \dots, \mu_{An}(x))$, T y T' son operadores de conjunción borrosos e I es un operador de implicación.

Como en la mayoría de los casos el Interfaz de Borrosificación transforma la entrada $x_0 = (x_1, \dots, x_n)$ que recibe el sistema en una serie de conjuntos borrosos puntuales $A'1, \dots, A'n$, la expresión de la RCI queda finalmente reducida a la forma:

$$\mu_{B'}(y) = I(\mu_A(x_0), \mu_B(y)) \quad (3)$$

Por tanto, el Sistema de Inferencia de un CB desde un punto de vista operativo deberá realizar las dos tareas siguientes: (i) determinar $\mu_A(x_0)$, mediante los Operadores de Conjunción y (ii) aplicar el Operador de Implicación Borroso, I.

3.4. El interfaz de clarificación

Como ya se ha descrito anteriormente, la forma de trabajo del Sistema de Inferencia de un SBRB se aplica al nivel de regla individual. Una vez aplicada la RCI sobre las m reglas que componen la BR, se obtienen m conjuntos borrosos B'i que representan las acciones borrosas que ha deducido el SBRB a partir de las entradas que recibió.

Los Grados de Importancia de una regla Ri de la BC son los siguientes:

- Área de un conjunto borroso B' viene definida por la expresión:

$$s = \int_U \mu_{B'}(u) du \quad (4)$$

- Grado de Emparejamiento (GE) de una regla R_i , que contiene las variables lingüísticas A_1, \dots, A_n , para los valores numéricos x_1, \dots, x_n de las variables de entrada:

$$h_i = T(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_n}(x_n)) \quad (5)$$

Debe considerarse que los GE han sido calculados por el Sistema de Inferencia y, por tanto, si de nuevo se empleasen en el Interfaz de Clarificación, éstos serían, además de los conjuntos borrosos inferidos provenientes de cada regla de la BC, información proveniente de dicho Sistema de Inferencia.

- Altura de un conjunto borroso B' , se define como:

$$y = \sup_{x \in X} \mu_{B'}(x) \quad (6)$$

Estos grados de importancia, se emplean en las siguientes definiciones de los llamados Valores Característicos, los cuales son usados en la definición de la mayoría de los métodos de Clarificación:

- Máximo Valor de un conjunto borroso B' :

$$G = x \in X / \mu_{B'}(x) = y \quad (7)$$

Cuando más de un valor de x satisface la condición, el máximo valor se puede obtener por varios métodos (HELLENDOORN, DRIANKOV y REINFRANK, 1993; HELLENDOORN y THOMAS, 1993 y HELLENDOORN, 1993), tomando el primero, el último o la media de esos dos.

- Centro de Gravedad de un conjunto borroso B' :

$$W_i = \frac{\int_Y y \cdot \mu_{B'_i}(y) dy}{\int_Y \mu_{B'_i}(y) dy} \quad (8)$$

4. Diseño de un sistema inteligente de alertas para la Seguridad Industrial Agroalimentaria: el modelo SIA2

4.1. Estructura lógica

El sistema propugnado en este trabajo se estructura en nueve módulos destinados a la evaluación de nueve planes generales de higiene, como muestra la figura 2. La evaluación es realizada en cada módulo independientemente de los demás con una serie de variables propias, relativas a los elementos del plan correspondiente que sea necesario valorar.

Es necesario tener en cuenta que los planes no necesariamente se ajustarán a los planes reales, puesto que las empresas tienen cierta libertad en este aspecto, por lo que los planes presentados constituyen una generalización que intenta englobar una amplia gama de posibilidades.

La salida final del sistema muestra las valoraciones para cada uno de estos aspectos y la valoración global.

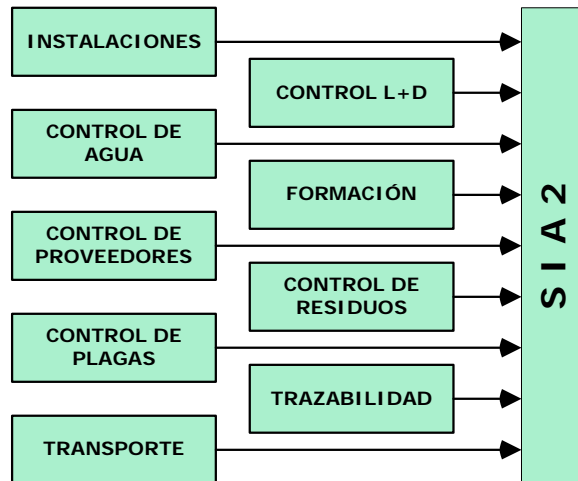


Figura 2. Mapa conceptual del SIA2.

- Control de Limpieza y Desinfección. Evalúa la calidad del plan destinado a la eliminación de desperdicios, restos de alimentos y suciedad.
- Control de Agua. Evalúa el plan destinado a garantizar que el agua que se utilice en los procesos de fabricación y tratamiento, así como en la limpieza de superficies, objetos y materiales que puedan entrar en contacto con los alimentos, sea apta para el consumo humano.

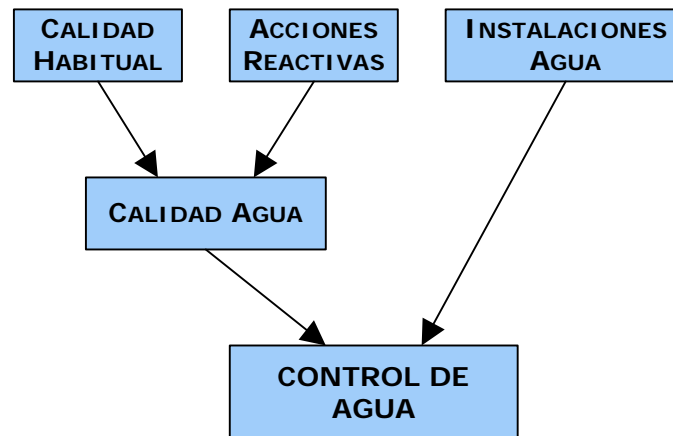


Figura 3. Mapa conceptual del módulo de control de agua.

- Formación. Evalúa la calidad del plan destinado a garantizar el nivel de formación y de aplicación de los conocimientos adquiridos por parte de los manipuladores de alimentos.
- Control de Residuos. Evalúa la calidad del plan destinado a garantizar la eliminación higiénica de residuos, subproductos y desperdicios, así como de evitar la difusión en el medio ambiente de productos contaminantes.
- Control de Plagas. Evalúa el plan destinado a establecer medidas de prevención y, en su caso, de eliminación de plagas.
- Control de Proveedores. Evalúa el plan destinado a garantizar el origen y la seguridad sanitaria de las materias primas, ingredientes y materiales en contacto con los alimentos, para que no incorporen peligros significativos.
- Trazabilidad. Evalúa la calidad del plan destinado a garantizar el control del sistema de distribución y la localización e identificación de los productos.

- Transporte. Evalúa el plan destinado a garantizar que durante el transporte los alimentos se mantienen a las temperaturas reglamentarias, no se produce transmisión de olores de unos alimentos a otros y los vehículos se encuentran en las condiciones de salubridad adecuadas.
- Instalaciones. Evalúa el plan destinado a lograr una infraestructura, instalaciones y equipos adecuados para la actividad desarrollada; Garantizar el mantenimiento de locales y equipos para su correcta utilización; Evitar que las estructuras y equipos puedan ser causa de contaminación.

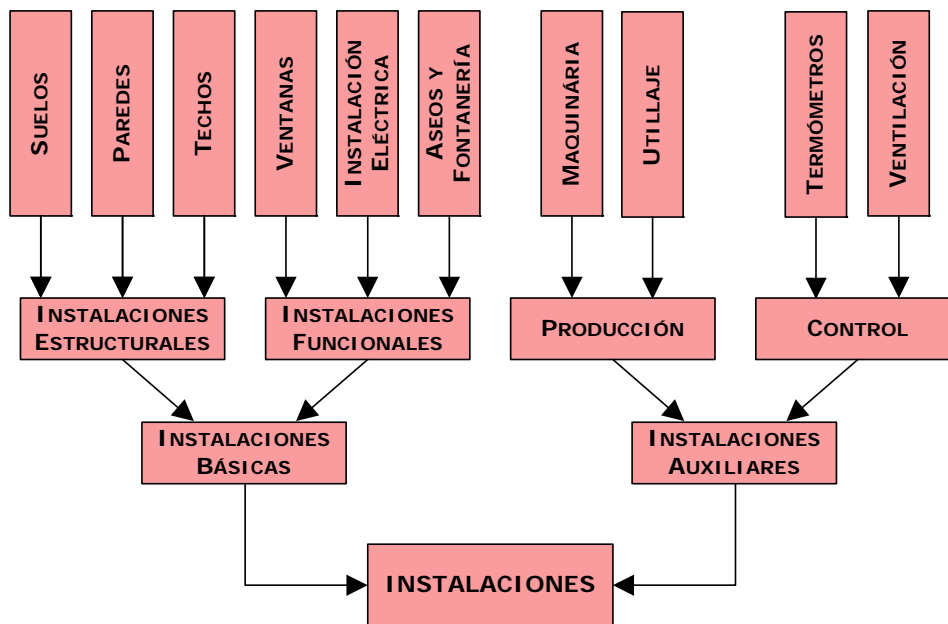


Figura 4. Mapa conceptual del módulo instalaciones.

4.2. Descripción de variables

Puesto que muchas de las variables presentan una estructura similar a efectos de su utilización dentro de los motores lógicos, se han definido un conjunto reducido de tipos que son empleados para modelar la semántica de las etiquetas lingüísticas correspondientes con cada una de estas variables.

Por una parte, existen una serie de tipos, descritos a continuación, considerados como genéricos, ya que son empleados para la modelización de una gran cantidad de variables, ya sea porque el aspecto valorado sea similar aunque corresponda a entidades diferentes, o porque ocupen una función semejante dentro del esquema lógico:

- Tipo Estado. En referencia al estado de suelos, paredes, marco, distintos tipos de instalaciones y otros, pudiendo considerarse como “no aceptable”, “aceptable”, “bueno” o “excelente”.
- Tipo Normativa. Supone valorar si una serie de acciones cumplen con la normativa legal vigente, por lo que solo cabe una clasificación booleana de la respuesta.
- Tipo Calidad. Hace referencia a la calidad de tópicos como el transporte, gestión de residuos, la formación de manipuladores u otros. La calidad se estructura en “mala”, “aceptable”, “buena” y excelente.
- Tipo Intermedio. La funcionalidad de este tipo es permitir estructurar el sistema internamente dentro de una forma jerárquica de modo que dentro de un mismo módulo existirán niveles para evaluar sucesivamente conjuntos de variables más simples

relacionadas entre sí, obteniendo valores de mayor grado informativo. El tipo intermedio se establece en las categorías o conjuntos borrosos “malo”, “normal” y “bueno”.

- Tipo Salida. Las variables finales de salida del sistema, obtenidas como resultado de todo el proceso de inferencia se interpretan empleando este tipo pentavaluado, diferenciando entre “muy malo”, “malo”, “normal”, “bueno” y “excelente”.

Por otra parte, hay variables que por su propia naturaleza requieren de una tipología específica, por lo que se reproducen a continuación tipos adecuados a ellas:

- Tipo Obstáculos. Las paredes, suelos y techos son elementos estructurales de las edificaciones que pueden suponer dificultades o riesgos. Es posible considerar la cantidad de obstáculos como “ninguno”, “pocos”, “bastantes” y “excesivos”.
- Tipo Material. El material empleado en la instalación de ventanas puede ser “malo”, “regular” o “bueno”.
- Tipo Iluminación. Tanto la iluminación artificial como la exposición a la iluminación natural puede considerarse “no adecuada”, “adecuada” o “perfecta”.
- Tipo Situación. El posicionamiento de los termómetros y la ventilación, puede variar entre “malo”, “normal” o “excelente”.
- Tipo Caudal Agua. La cantidad de agua obtenida en los grifos se interpreta, de acuerdo a la clasificación, como “poca”, “normal” o “mucho”.
- Tipo Mantenimiento. La frecuencia con la que se realiza el mantenimiento de aquellos elementos que lo requieren puede ser “ninguna vez”, “pocas veces” o “habitualmente”.
- Tipo Calidad Agua. Aunque se trate de la evaluación de la calidad, esta consideración no puede asimilarse a la valoración genérica de la calidad, puesto que en este caso se trata de discriminar entre agua “potable” o “no potable”.
- Tipo Incidencias. Los incidentes producidos en el periodo de un año pueden ser “ninguno”, “pocos” o “muchos”.

4.3. Aplicativo

El aplicativo del sistema esta desarrollado en java. La aplicación incorpora un conjunto de pestañas que permiten introducir los datos referentes a cada una de las cuestiones relacionadas con el tópico que identifican, y que se corresponden respectivamente con cada uno de los módulos del Sistema Experto.

La implementación de la lógica de la aplicación se ha realizado empleando Xfuzzy 3.0, aplicación desarrollada por el IMSE (Instituto de Microelectrónica de Sevilla) y que permite generar con un interfaz gráfico amigable todos los tipos, variables, reglas, etc.

El manejo del aplicativo es muy simple, únicamente es necesario completar los datos a través de las listas desplegables y emplear el botón “calcular” para que el sistema realice la evaluación. Si se desea volver al estado inicial de la aplicación, el botón “limpiar” elimina todas las selecciones realizadas.

Figura 5. Entrada de datos para control de proveedores.

Figura 6. Entrada de datos para control del transporte.

5. Conclusiones y líneas futuras

El modelo desarrollado empleando Sistemas Expertos Basados en Reglas Borrosas contextualizados a través de un interfaz de fácil manejo, permite realizar controles sobre la adecuabilidad de los distintos Planes Generales de Higiene, alertando de la necesidad de poner en marcha medidas correctoras si las evaluaciones detectan anomalías.

El aplicativo ha sido desarrollado como prototipo, a partir del cuál se incluirán modificaciones que aumenten su potencia y funcionalidad.

Desde el punto de vista funcional, la adecuación del sistema a un entorno web sería aconsejable para permitir su uso sobre todo tipo de terminales electrónicos, como PDA, teléfonos móviles, etc.

Por otra parte, la potencia del sistema se incrementaría conectando el sistema a una base de datos, para el almacenamiento de los datos con fines estadísticos.

Además de estos puntos de vista relacionados con la estructura del aplicativo, en el futuro próximo el esfuerzo investigador se enfocará en la posibilidad de realizar acciones sobre el propio sistema experto, generando una versión simplificada y una más completa que se adecuen a las necesidades de usuarios ocasionales o profesionales.

Referencias

- Bardossy, A.; Duckstein, L. (1995). *Fuzzy rule-based modeling with application to geophysical biological and engineering system*, CRC Press. New York.
- Pedrycz, W. (1996). *Fuzzy Modeling: Paradigms and Practice*, Kluwer Academic, Boston.
- Driankov, D.; Hellendoorn, H.; Reinfrank, M. (1993). *An introduction to fuzzy control*, Springer-Verlag, Berlín.
- Hirota, K. (1993). *Industrial Applications of Fuzzy Technology*, Springer-Verlag, Berlín.
- Wang, L. (1992). *Fuzzy systems are universal approximators*. Incluido en "Proceedings of the First IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE'92)", San Diego, págs. 1163-1170.
- Sugeno, M.; Yasukawa, T. (1993). *A fuzzy-logic-based approach to qualitative modelling*, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 1, n° 1, págs. 7-31.
- Klir, G.; Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic*, Prentice-Hall, New York.
- Mamdani, E. (1974). *Applications to fuzzy algorithms for simple dynamic plant*, Proceedings IEEE, Vol. 21, n° 12, págs. 1585-1588.
- Mamdani, E.; Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7, págs. 1-13.
- Zadeh, L. (1973). *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*, IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 3, n° 1, págs. 28-44.
- Zimmerman, H. (1996). *Fuzzy Sets Theory and Its Applications*, Kluwer Academic.
- Hellendoorn, H. (1993). *Design and Development of Fuzzy Systems at Siemens R&D*, Proceedings of the FUZZ-IEEE'93, San Francisco, págs. 1365-1370.
- Hellendoorn, H.; Thomas, C. (1993). *Defuzzification in Fuzzy Controllers*, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, Vol. 1, págs. 109-123.
- Hellendoorn, H.; Driankov, D.; Reinfrank, M. (1993). *An Introduction to Fuzzy Control*, Springer Verlag, Berlín.
- Kaufmann, A.; Gil Aluja, J. (1993). *Técnicas Especiales para la Gestión de Expertos*, Milladoiro, Santiago de Compostela.
- López González, E. (2001). A Methodology for Building Fuzzy Expert Systems (FES) with Spreadsheet to Quality Function Deployment (QFD) of the Target Costing. Incluido en Gil Aluja, J. (ed): "Handbook of Management under Uncertainty". Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, págs. 457-535.
- Agencia española de seguridad alimentaria. <http://www.aesa.msc.es/aesa/web/aesa.jsp>.
- Federación española de industrias de alimentación y bebidas. <http://www.fiab.es>.
- Servicio de seguridad alimentaria del gobierno de las islas baleares: "Programa de Auditorías del Autocontrol por el sistema APPCC en Empresas alimentarias". http://dgsalut.caib.es/user/portal_salut/auditoriasAPPCC.es.htm.
- Departamento de salud del gobierno de navarra: "Sistema de Autocontrol en la Industria Alimentaria". <http://www.cfnavarra.es/isp/actividades/alimentaria/haccp.htm>.
- Food and agriculture organization: "Manual Sobre la Aplicación del Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC) en la Prevención y Control de las Micotoxinas". <http://www.fao.org>.
- Food and agriculture organization: "Sistemas de Calidad e Inocuidad de los Alimentos". <http://www.fao.org>.