

**DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA
AVANZADA DE SOFTWARE PARA
EL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE
PROCESOS AGROALIMENTARIOS,
BASADA EN LA METODOLOGÍA
SAFES**

MASTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

Alumno:
Ing. Wilson Manuel Castro Silupu

Directores:
Dr. Pedro Fito Maupoey
Dr. Luis Mayor López
Dra. Maria Creu Chenoll Cuadros

Centro:
Instituto Universitario de Ingeniería de
Alimentos para el Desarrollo

DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA AVANZADA DE SOFTWARE PARA EL ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE PROCESOS AGROALIMENTARIOS, BASADA EN LA METODOLOGÍA SAFES

W. Castro¹, P. Fito, L. Mayor, M. Chenoll

RESUMEN

La metodología SAFES (*Systematic Approach to Food Engineering Systems*) ha demostrado ser una excelente herramienta para la simulación de productos y procesos alimentarios. Esta metodología reconoce la complejidad del alimento y organiza, a través del concepto de fases estructuradas, información sobre composición, estructura, propiedades termodinámicas, cinéticas de reacción y atributos de calidad.

Para la implementación de la metodología SAFES es necesario, entre otras actividades, aplicar secuencias lógicas de decisiones, gestionar información sobre propiedades de alimentos y realizar cálculos matemáticos (balances de materia y energía, uso de ecuaciones de predicción de propiedades, etc.).

Por todo lo anteriormente comentado, es de especial interés y el objetivo de este trabajo el diseño de una estructura avanzada de software para el análisis y simulación de procesos agroalimentarios, basada en la metodología SAFES.

La labor se inició determinando los requerimientos de uso y las especificaciones técnicas y de interfaces, mediante reuniones con usuarios. Las interfaces se diseñaron para ser implementadas mediante Microsoft Visual Basic 6.0, considerando el brindarle al usuario un entorno intuitivo y fácil de emplear. Posteriormente se desarrollaron las secuencias lógicas, se codificaron y validaron. La codificación y la validación se realizaron de forma paralela, tomando especial atención en las secuencias de determinación de componentes y fases estructuradas, por su importancia en la aplicación de la metodología. Al concluir la codificación se procedió a la compilación y generación de un archivo ejecutable, así como paquetes de instalación, lo cual permite utilizar el software en computadores con sistema operativo Windows XP.

Esta labor ha demostrado que la metodología SAFES, traducida en una serie de secuencias lógicas, puede ser utilizada en el desarrollo de una aplicación informática para en el análisis de productos y procesos alimentarios.

RESUM

La metodologia SAFES (*Systematic Approach to Food Engineering Systems*) ha demostrat ser una ferramenta excel·lent per a la simulació de productes i processos alimentaris. Esta metodologia reconeix la complexitat

¹ Email: wilcassi@posgrado.upv.es

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n, Cp 46022, España

de l'aliment i organitza, a través del concepte de fases estructurades, informació sobre composició, estructura, propietats termodinàmiques, cinètiques de reacció i atributs de qualitat.

Per a la implementació de la metodologia SAFES es necessari, entre altres activitats, aplicar seqüències lògiques de decisions, gestionar informació sobre propietats d'aliments i realitzar càlculs matemàtics (balanços de matèria i energia, ús de equacions de predicció de propietats, etc.).

Per tot el anteriorment comentat, és de especial interès i l'objectiu d'aquest treball el disseny d'una estructura avançada de software per a l'anàlisi i simulació de processos agroalimentaris, basat en la metodologia SAFES.

El treball començà determinant els requeriments d'ús i les especificacions tècniques i de interfícies, mitjançant reunions amb els usuaris. Les interfícies es dissenyaren per a ser implementades mitjançant Microsoft Visual Basic 6.0, considerant oferir a l'usuari un entorn intuïtiu i de fàcil ús. Posteriorment es desenvoluparen les seqüències lògiques, es codificaren i es validaren. La codificació i la validació es realitzaren de forma paral·lela, prestant especial atenció en les seqüències de determinació de components i fases estructurades, per la seva importància en l'aplicació de la metodologia. Al finalitzar la codificació es va procedir a la compilació i generació d'un arxiu executable, així com paquets d'instal·lació, el que permet utilitzar el software en computadores amb sistema operatiu Windows XP.

Aquest treball ha demostrat que la metodologia SAFES, traduïda a una sèrie de seqüències lògiques, pot ser utilitzada en el desenvolupament d'una aplicació informàtica per a l'anàlisi de productes i processos alimentaris.

ABSTRACT

The SAFES methodology (Systematic Approach to Food Engineering Systems) has proved to be an excellent tool for Food Product and Process Simulation. SAFES recognizes the food complexity and organizes, through the concept of structured phases, information about composition, structure, thermodynamic properties, reaction kinetics and quality attributes.

For implementing this methodology is necessary, among other activities, to apply logic sequences of decisions, to manage information on food properties and to make mathematical calculations (mass and energy balances, use of predictive models of food properties, etc.)

The aim of this work is to develop an advanced software structure for the analysis and simulation of food products and processes based on this methodology.

Initially user requirements, technical specifications and interfaces were identified through meetings with the users. Interfaces were implemented using Microsoft Visual Basic 6.0. Then logical sequences were developed, codified and validated. Validation of logical sequences, parallel to the encoding process, was carefully carried out especially for the identification of components and structured phases, since these steps are very important for an adequate application of the methodology. After codification an executable

file as well as installation packages were compiled and generated, which allow using the software on computers running with Windows XP.

This work showed that SAFES methodology can be translated into a series of logic sequences and used in the development of a computer application for the analysis and simulation of food products and processes.

PALABRAS CLAVE: diseño de productos alimentarios; modelo; SAFES; simulación; software,

1. INTRODUCCIÓN

La simulación computacional ha sido utilizada y se continúa viéndose utilizada en diversos campos de la actividad humana, como la ingeniería, la meteorología o en aplicaciones con fines militares, debido a su potencial como herramienta de simulación de experimentos de laboratorio, sin remplazar a estos y proveyendo de esta manera un mecanismo para experimentar, predecir, aprender y responder a preguntas tales como: “¿Y si...?” (Sandeep, Irudayaraj y Soojin, 2001; Ruiz, Ramos y Toro, 2006).

El modelado y la simulación de procesos, por la magnitud de sus aplicaciones y la repercusión de estas en la industria, han atraído la atención de científicos e ingenieros por muchas décadas y son aún objetivos de importancia para el entendimiento de los mismos (Dobre y Sánchez 2007). Habitualmente la principal aplicación es el cálculo o dimensionamiento de equipos y el análisis del consumo energético, del rendimiento global y de la magnitud de los flujos de residuos en una planta (Bruce, 2006); con esta información el ingeniero está, casi siempre, en posibilidad de diseñar, controlar y optimizar equipos y/o procesos productivos.

Si bien las aplicaciones informáticas disponibles actualmente son adecuadas para el análisis de procesos en la industria química, su uso en la industria alimentaria es limitado debido a la estructura altamente compleja de los sistemas alimentarios (Fito, Le Maguer, Betoret y Fito, 2007^b). Adicionalmente, un aspecto fundamental en la modelización de productos y procesos alimentarios es predecir los cambios en la estructura y propiedades del alimento durante el proceso.

Otras características que hacen necesario un enfoque especial en la modelización de los procesos alimentarios son (Datta y Sablani, 2007; Fito et al., 2007^b):

- Existencia de una amplia variedad de materiales con características muy diferentes.
- Alta variabilidad en las propiedades un material, entre diferentes muestras y en la misma muestra, debido a su origen biológico.
- Acoplamiento de fenómenos físicos, químicos y biológicos, en sistemas alejados del equilibrio.
- Escasa disponibilidad de datos sobre las relaciones estructura-propiedad-proceso en alimentos, donde es frecuente encontrar sistemas coloidales, celulares y multicelulares (Fito, et al.2007^b)

En este contexto, eEl grupo de Ingeniería de productos y Procesos Agroalimentarios del Instituto de Ingeniería de los Alimentos para el Desarrollo (IUIAD) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), liderado por el Prof. Pedro Fito, ha desarrollado en los últimos años la metodología

SAFES (Systematic Approach to Food Engineering Systems) (Fito et al. 2007^b). SAFES es una metodología general de análisis de las operaciones y procesos alimentarios que reconoce la complejidad del alimento y organiza de una forma simplificada, mediante el concepto de “fases estructuradas”, información sobre composición, estructura, propiedades termodinámicas, cinéticas de reacción y atributos de calidad. Esta información se presenta en forma matricial lo que facilita la realización de cálculos matemáticos, especialmente los balances de materia y energía, los equilibrios y fuerzas impulsoras, desde una aproximación estructural y termodinámica. Asimismo, esta metodología permite detectar el acoplamiento de diferentes mecanismos de transporte, y por tanto deducir las ecuaciones correspondientes para cuantificar flujos (balances), fuerzas impulsoras (equilibrios) y ecuaciones de velocidad (cinéticas).

La metodología SAFES requiere del empleo de herramientas informáticas para su realización. Así, la construcción de las matrices (descriptivas, de cambio y transformadas) se realiza frecuentemente con el software de tratamiento de datos Microsoft Excel (*Microsoft Corporation*). Tanto los diagramas de flujo del proceso tradicionales y SAFES se realizan mediante las herramientas de dibujo del software Microsoft Word (*Microsoft Corporation*). A pesar del uso de estas herramientas informáticas, el análisis de productos y procesos alimentarios mediante la metodología SAFES sigue siendo un procedimiento tedioso, donde el elevado número de cálculos puede llevar a cometer errores de forma frecuente.

Por tanto, es de especial interés el desarrollo de una herramienta informática que facilite, entre otras, las siguientes operaciones:

- Diseñar diagramas de flujo tradicionales y SAFES
- Determinar de forma sistemática fases y componentes
- Construir matrices descriptivas, transformadas y de cambio
- Realizar cálculos matemáticos mediante el empleo de ecuaciones y balances de materia, así como realizar operaciones entre matrices
- Estudiar procesos alimentarios a partir de otros previamente analizados

El objetivo general de este trabajo es el desarrollo de una estructura avanzada de software para el análisis de productos y procesos alimentarios basado en la metodología SAFES. Este objetivo general se divide en los objetivos parciales siguientes:-

- Desarrollo de requerimientos operacionales
- Desarrollo de especificaciones técnicas
- Desarrollo de la arquitectura del sistema
- Desarrollo de aplicación en lenguaje Visual Basic 6.0

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizaron el material bibliográfico, paquetes informáticos y hardware que a continuación se detallan:

- Material bibliográfico. Para el desarrollo y validación del software se utilizaron diferentes ejemplos de aplicación de la metodología SAFES encontrados en la literatura.
- Paquetes informáticos. Microsoft Office Visio 2007, ~~Redmond—Washington, Estados Unidos.~~, Microsoft Excel 2007, Microsoft Access 2007, ~~Redmond—Washington, Estados Unidos.~~, Microsoft Visual Studio 6.0., ~~Redmond—Washington, Estados Unidos.~~
- Sistema Hardware. Procesador: Intel (R) Core (TM) 2 Duo T 9400 @2.53 GHz, Memoria: 4.00 GB, Tipo de sistema: 32 bits, Disco duro: 320 GB

2.2 Metodología

La metodología empleada fue la utilizada normalmente en proyectos de desarrollo de software (McConnell 2004, Jenkins 2005 y Fairley 2009). ~~La cual consiste~~ Consiste básicamente en la división de la labor en diferentes etapas, las cuales se describen a continuación:

2.2.1 Desarrollo de requerimientos. Los requerimientos operacionales fueron definidos mediante reuniones con el grupo de Ingeniería de Productos y Procesos Alimentarios, ~~grupo de desarrollo de la metodología SAFES. que son los usuarios más experimentados en la metodología SAFES.~~ Así mismo, se definieron los requisitos del sistema informático, derivados de los requerimientos operacionales, en los cuales se especifica la calidad y atributos técnicos que el sistema debe proveer para satisfacer los requerimientos operacionales (Munson, 2006).

2.2.2 Desarrollo de la arquitectura del sistema. Dicha arquitectura, tal y como propone McConnel (2004), presenta varios niveles de abstracción, que se comentan a continuación:

- *Nivel 1:* Arquitectura del sistema informático. El sistema informático se representa utilizando un diagrama de bloques, para ilustrar el hardware primario, software y usuarios o elementos, más las conexiones entre estos (Fairley, 2009).
- *Nivel 2:* Subsistemas. En este nivel se identifican los principales subsistemas. Estos subsistemas suelen ser grandes bases de datos, interfaces de usuarios, etc.
- *Nivel 3:* Módulos. El diseño a este nivel incluye la identificación de todos los módulos de un sistema informático y la forma en que estos se ordenan en un flujo de información. El desarrollo a este nivel se realizó como lo proponen Dobre y Sánchez (2007) para otros simuladores, usando una aproximación modular secuencial y la propuesta para la aplicación de la metodología SAFES de Fito et al., 2007^b.
- *Nivel 4:* Rutinas. En este nivel se procede a dividir cada módulo en rutinas, detallando las rutinas específicas de cada módulo. Las rutinas principales para el desarrollo del espacio SAFES de fases, componentes y estados de agregación son las que permiten determinar los componentes y fases estructuradas. Estas rutinas fueron desarrolladas en un proceso iterativo y validadas con resultados de los trabajos de Argüelles et al. (2007), Betoret et al. (2007) y Heredia et al. (2007).

2.2.3 Preparación de documentos. En esta tesis se presentan algunos de estos documentos que forman parte del trabajo: (i) Requerimientos de operación; (ii) Especificaciones técnicas; (iii) Documentación de diseño de arquitectura; (iv) Especificaciones de diseño detalladas.

2.2.4 Validación de secuencias lógicas. Al concluir el desarrollo de las secuencias lógicas se procedió a la validación de las mismas.

2.2.5 Implementación del software. Paralelamente al proceso de validación se procedió a implementar las secuencias lógicas en lenguaje Visual Basic 6.0.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Requerimientos operacionales

A continuación se detallan ~~Como resultado de las reuniones con el grupo de Ingeniería de Productos y Procesos Alimentarios, del IulAD-UPV,~~ los requerimientos operacionales del sistema informático y principalmente del software de aplicación de la metodología SAFES²:

3.1.1 Características operacionales

- El paquete instalador deberá ser descargable desde un servidor particular.
- El software gestionará la base de datos, a medida que se realicen proyectos³ referidos al análisis de diferentes casos de estudio.
- El software deberá generar reportes informes impreso.
- El software, mediante distintos módulos, permitirá al usuario (i) Gestionar usuarios (ii) Gestionar proyectos (iii) Gestión de fases y componentes (iv) Desarrollar diagramas de flujo (v) Construir matrices el espacio SAFES de fases, componentes y estados de agregación (vi) Llenar Construir matrices descriptivas (vii) ~~con materiales u etapa de cambio, para generar así matriz correspondiente.~~ Desarrollar operaciones entre matrices.

3.1.2 Atributos de calidad

- Los resultados obtenidos en un proyecto deberán ser reproducibles o reutilizables.
- El consumo de recursos del sistema no deberá ser excesivo.

3.1.3 Limitaciones de diseño

- Los reportes informes generados por el software se guardarán en formato apropiado para su apertura con los procesadores de texto de uso común (Word, block de notas, OpenOffice, etc.).
- La base de datos se alojará en el computador del usuario, instalándose simultáneamente con la aplicación.

~~3.2 Informes de algunas investigaciones, en las cuales fué considerado el desarrollo de aplicaciones informáticas como objeto de sus estudios: SIMDINUC 2.0, Programa modular para la simulación dinámica de procesos químicos (Niño y col. 2006), Desarrollo de~~

² A partir de este apartado lo llamaremos software.

³ El proyecto es un conjunto de información ingresada por el usuario al sistema (software y base de datos) con la finalidad de desarrollar el análisis de un alimento o proceso.

~~un simulador de secado para materiales biológicos (Olivas y col. 2004) y SIMPHA: Programa de simulación para el proceso de producción de aceite de maíz y harina de maíz precocida (Pérez y col. 2006), no mencionan, como parte de su metodología, si tomaron en cuenta los requerimientos de potenciales usuarios o la elaboración de requerimientos operacionales.~~

3.33.2 Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas para el software se diseñaron en concordancia con los requerimientos operacionales formulados en el apartado anterior y se detallan a continuación:

3.2.1 Interfaces o ventanas

- *Ventana autenticación.* Identificación del usuario y su nivel de uso.
- *Ventana supervisor.* Gestión de las ventanas que conforman el programa.
- *Ventana de gestión de proyecto.* Carga o creación de proyectos.
- *Ventana de gestión de fases y componentes.* Selección de las fases y componentes para el proyecto.
- *Ventana de diagrama de flujo.* Construcción de los diagramas de flujo del proceso.
- *Ventana de desarrollo de matrices.* Creación de matrices descriptivas del proceso y vinculación con las etapas de cambio ~~o materiales del diagrama de flujo.~~
- *Ventana de operaciones matriciales.* Realización de operaciones matriciales (adición, sustracción y multiplicación) ~~ees.~~ El resultado de de las estas operaciones será la obtención de una matriz transformada (multiplicación) o de cambio (resta) de multiplicación o sustracción y se mostrará en otra una nueva ventana, ~~posibilitando que la obtención de matrices de cambio.~~

3.2.2 Restricciones de diseño

- *Estructura.* El sistema informático estará constituido por dos subsistemas: uno para gestión de la base de datos y otro para la aplicación de la metodología SAFES.
- *Orientación de la aplicación.* El sistema se orientará al uso en computador, en diseño modular con arquitectura orientada a objetos⁴.
- *Interfaces software.* Las interfaces del software requerirán conexión con la base de datos, almacenada en el computador.
- *Interfaces de usuario.* Las interfaces de usuario serán orientada a ventanas tipo Windows.
- *Interfaces Hardware.* El software se desarrollara considerando el uso de los periféricos comúnmente usados para introducción, selección y observación de información (teclado, ratón, pantalla).

3.2.3 Atributos del sistema de software

- *Autenticación y autorización de usuarios.* El software verificará si el usuario cuenta con acceso a la aplicación y su nivel de acceso. Además, en función del nivel al que pertenezca, *Administrador* o *Usuario*, podrá

⁴ En este tipo de arquitectura los componentes del sistema (software, bases de datos, etc.) encapsulan datos y operaciones que deben utilizarse para manipular dichos datos.

crear usuarios y proyectos o únicamente crear proyectos respectivamente.

3.43.3 Diseño del sistema.

En el diseño del sistema se desarrollaron los cinco niveles comentados por Fairley (2009). A continuación se muestran los resultados de este desarrollo.

3.3.1 Nivel 1: Arquitectura del sistema.

La arquitectura propuesta para el sistema informático, elaborada en base en los requerimientos operacionales y especificaciones técnicas, se esquematiza en la figura 1.

A este nivel se observa que el sistema requiere los siguientes subsistemas:

- *El servidor*, en el cual se alojará el paquete de instalación del software y desde el cual se descargan los instaladores.
- *El computador del usuario*, en el cuál se instalará el software y la base de datos.
- *El software*, con capacidad de analizar procesos y productos y gestionar las bases de datos.
- *La base de datos*, con información de proyectos, usuarios, fases, componentes y otros elementos para la aplicación de la metodología SAFES.

3.3.2 Nivel 2: Subsistemas

Como se deduce de la arquitectura del sistema, los subsistemas que necesitan ser desarrollados son: (i) un software que gestione las etapas que comprenden el análisis del proceso mediante la metodología SAFES, (ii) una base de datos. Además, es necesario vincular estos dos subsistemas con un gestor de base de datos.

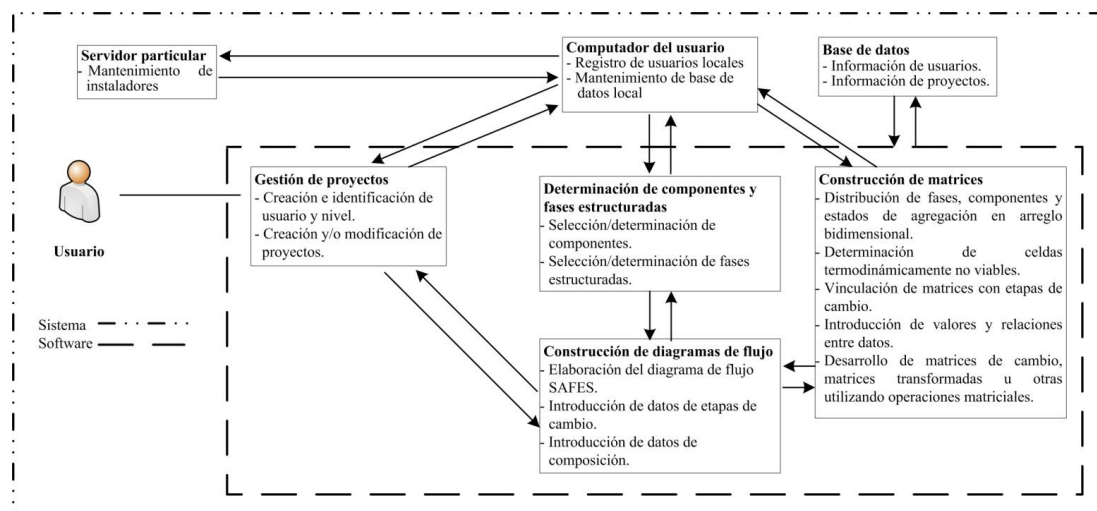


Figura 1. Arquitectura del sistema informático

3.3.3 Nivel 3: Módulos

La labor de determinación de módulos en los elementos del sistema se ha limitado al software de aplicación de la metodología SAFES; esto es debido a haberse planificado utilizar el software comercial Microsoft Office Access

2007 (*Microsoft Corporation*) como software gestor de base de datos y que la base de datos no requiere el desarrollo de módulos para su integración en el sistema.

Por tanto; el software para aplicación de la metodología SAFES se dividió en cuatro módulos (figura 2), los cuales se describen a continuación:

- *Módulo de gestión de usuarios y proyectos.* Este módulo posibilita la identificación del usuario y del nivel de usuario, así como la creación o modificación de proyectos a usuarios identificados.
- *Módulo de gestión de información preliminar.* En este módulo el usuario introduce el número de etapas de cambio y las condiciones de proceso para cada etapa. Con esta información se construyen los diagramas de flujo del proyecto en estudio. Además es posible introducir información sobre la composición del alimento objetivo de estudio.
- *Módulo de determinación de fases y componentes.* En este módulo el usuario determina los componentes y fases estructuradas del proyecto en estudio.
- *Módulo de desarrollo de matrices.* En este módulo se distribuyen las fases estructuradas, componentes y estados de agregación, en un arreglo bidimensional creando el espacio SAFES de fases, componentes y estados de agregación. Posteriormente, se determinan los puntos de este espacio termodinámicamente posibles y permite al usuario introducir valores numéricos, ecuaciones de balances o funciones predictivas en los mismos. Finalmente el usuario cuenta con la posibilidad de realizar operaciones con las matrices.

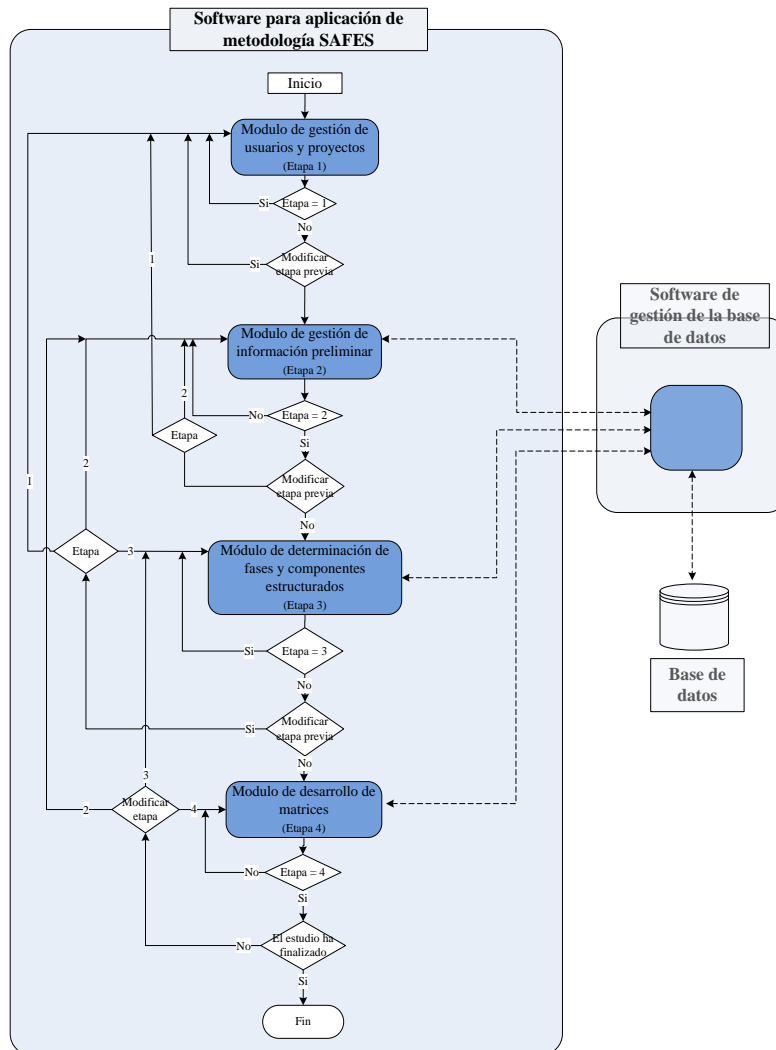


Figura 2. Descripción del software en base a su estructura en módulos

3.3.4 Nivel 4: Rutinas.

Para cada módulo se desarrollaron las rutinas y las conexiones de estas con la base de datos. Debido a las limitaciones de extensión del documento de presentación de esta tesis de máster se muestran únicamente las rutinas del modulo de determinación de fases y componentes y del módulo de desarrollo de matrices ya que estos módulos son los más importantes para la aplicación de la metodología SAFES.

- Rutinas del módulo de determinación el espacio SAFES de fases, componentes y estados de agregación. Este módulo, figura 3, guía al usuario en la selección y/o determinación de las fases estructuradas y componentes que permite la construcción del espacio SAFES de fases, componentes y estados de agregación. El modulo está constituido por las rutinas que se describen a continuación:
Determinación de componentes. Busca información de componentes en la tabla Componentes. En caso de existir la información el usuario tiene la posibilidad de utilizar o modificar la existente; de no existir se procede a identificar la relevancia de los componentes mediante una secuencia

lógica de preguntas, figura 4. Una vez identificados los componentes relevantes para el proyecto el usuario los agrupará dando lugar a los componentes del proyecto y utilizando la tabla componentes.

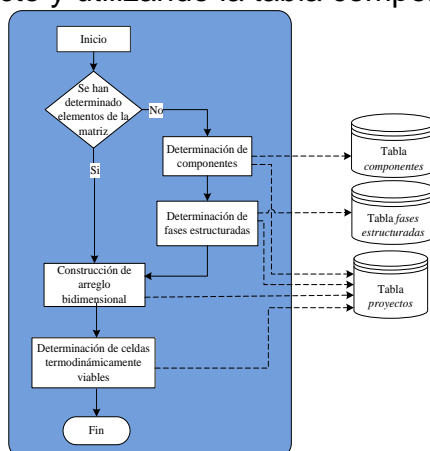


Figura 3. Módulo de desarrollo del espacio SAFES de componentes, fases y estados de agregación.

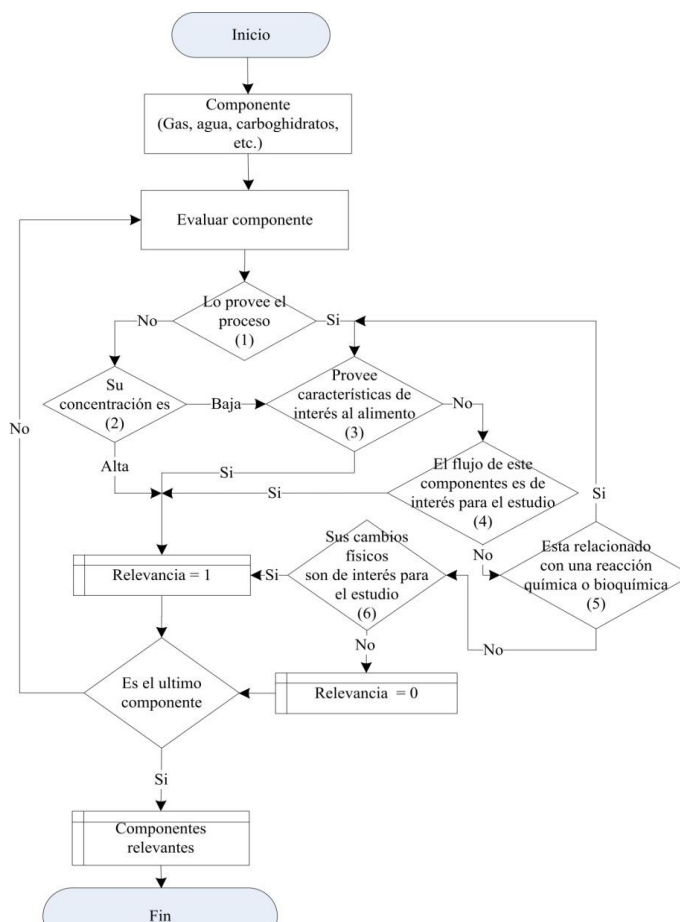


Figura 4. Secuencia de preguntas para la determinación de la relevancia de los componentes de un alimento para un determinado proyecto
Determinación de fases estructuradas. En esta rutina se procede a buscar las fases estructuradas para el proyecto en la base de datos. En caso de existir información de fases estructuradas para el proyecto el usuario tiene

la posibilidad de utilizarla o modificarla. En caso contrario se procede a su determinación mediante una secuencia de preguntas-respuestas, figura 5.

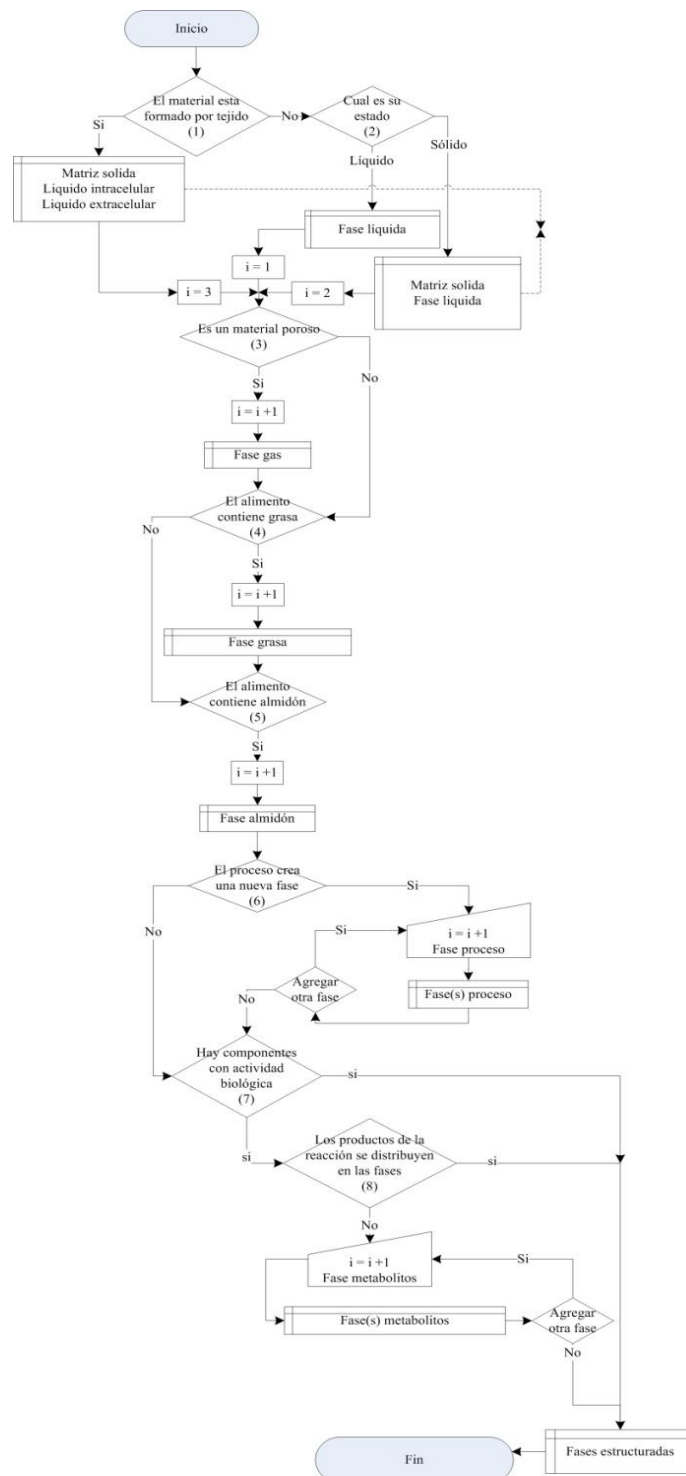


Figura 5. Secuencia de preguntas-respuestas para la determinación de las fases estructuradas de un proyecto.

Construcción del espacio SAFES de fases, componentes y estados de agregación. Permite al usuario la construcción del espacio SAFES de

fases, componentes y estados de agregación. En este arreglo bidimensional el estado de un componente queda expresado mediante dos índices (fila y columna). Posteriormente estos índices sirven para introducir valores o funciones predictivas en matrices y realizar balances.

Determinación de celdas termodinámicamente viables. En esta rutina el usuario selecciona las celdas no viables termodinámicamente. Al seleccionar dichas celdas se inhabilita la introducción de valores, realización de balances o introducción de funciones.

- Rutinas del módulo de desarrollo de matrices.- Este módulo, figura 6, permite al usuario el desarrollo de matrices descriptivas y operar con ellas para obtener matrices transformadas y de cambio. Cuenta con tres rutinas y se comunica con las tablas proyectos, matrices predefinidas y matrices de usuario de la base de datos.

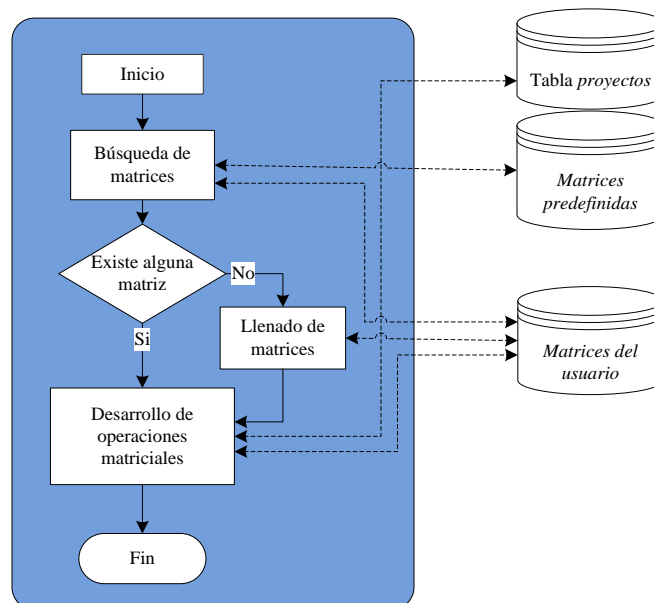


Figura 6. Módulo de construcción de matrices

Las rutinas que constituyen este módulo se describen a continuación:

Búsqueda de matrices. En esta rutina se listan las matrices del proyecto. Si en el proyecto no se han definido matrices se le indica al usuario que debe de desarrollarlas.

Llenado de matrices descriptivas. El llenado de las matrices descriptivas características de un proyecto inicia seleccionando alguna de las etapas de cambio o materiales del diagrama de flujo con lo cual se muestra el espacio SAFES y se habilita la introducción de valores numéricos, balances de materia o ecuaciones predictivas. Cuando el usuario ha concluido el ingreso de información, esta queda almacenada y actualiza la base de datos. Finalmente se le asigna el nombre a la matriz.

Desarrollo de operaciones matriciales. Esta rutina permite al usuario utilizar las matrices almacenadas o en la base de datos para realizar operaciones a fin de calcular las matrices transformadas y matrices de cambio del proyecto. Estas nuevas matrices son nombradas por el

usuario y almacenadas en la base de datos del software, quedando así actualizada.

3.53.4 Validación de secuencias lógicas

Previo al desarrollo del software fue necesaria la validación manual de las secuencias lógicas del módulo de determinación de fases estructuradas y componentes, descritas en el apartado 3.3.4. Dicha validación se realizó mediante su aplicación a tres ejemplos de uso de la metodología SAFES en diferentes productos/procesos alimentarios:

- *Application of SAFES (systematic approach to food engineering systems) methodology to dehydration of apple by combined methods (Betoret et al., 2007).*
- *Application of SAFES methodology in Manchego-type cheese manufacture (Argüelles et al., 2007).*
- *Application of the SAFES (systematic approach of food engineering systems) methodology to salting, drying and desalting of cod (Heredia et al., 2007).*

Las etapas de cambio propuestas por los autores para cada una de las investigaciones, (figuras 7 – 9) son las siguientes⁵:

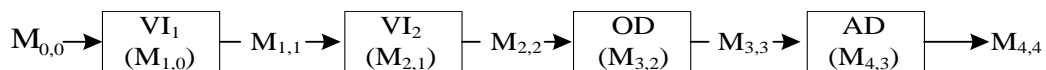


Figura 7. Etapas de cambio para la deshidratación de manzana por métodos combinados (Betoret et al., 2007)

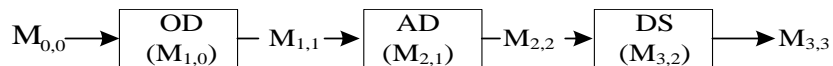


Figura 8. Etapas de cambio para la producción de queso tipo manchego (Adaptado de Argüelles et al., 2007)

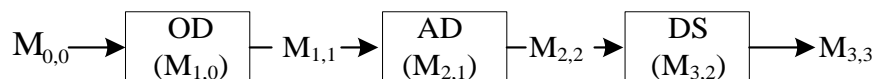


Figura 9. Etapas de cambio para el salado, secado y desalado de bacalao (Adaptado de Heredia et al., 2007)

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la aplicación de las secuencias de preguntas:

- *Determinación de componentes.* Como resumen, en la tabla 1, se muestra la relevancia de los componentes proximales en cada uno de los trabajos analizados.

En este trabajo se he tenido en cuenta el criterio de agrupar, según afinidad química, algunos componentes proximales para dar lugar a los componentes. En la tabla 2 se observan los componentes obtenidos tras

⁵ Las siglas usadas para nombrar las etapas de cambio en las AD, DS, OD, VI hacen referencia a *Deshidratación por aire caliente*, *Desalado*, *Secado osmótico* e *impregnación a vacío* respectivamente.

la aplicación de las secuencias lógicas y los componentes propuestos en los trabajos consultados.

Tabla 1. Relevancia de los componentes proximales en los trabajos analizados

Componente proximal	TRABAJO		
	A	B	C
Gas	Si	No	No
Agua	Si	Si	Si
Proteínas	No	Si	Si
Lípidos	No	Si	Si
Cenizas	Si	Si	Si
Fibra total	Si	No	No
Azúcares	Si	No	No
Vitaminas	No	No	No

A. Betoret et al. (2007), B. Argüelles et al. (2007) y C. Heredia et al. (2007)
Si = relevante, No = No relevante

Tabla 2. Componentes de los trabajos analizados y las obtenidas con las secuencias lógicas

A ¹	A ²	B ¹	B ²	C ¹	C ²
Agua	Agua	Agua	Agua	Agua	Agua
Sólidos insolubles	Sólidos insolubles	Sólidos no soluble nativos	Sólidos insolubles	Proteína	Sólidos insolubles
sólidos solubles nativos	Sólidos solubles	Sólidos solubles nativos	Sólidos solubles añadidos	Sólidos solubles añadidos	Sólidos solubles añadidos
Sólidos solubles añadidos	Sólidos solubles añadidos				Sólidos solubles
		Grasa	Grasa	Grasa	Grasa
Gas	Gas				

A. Betoret et al. (2007), B. Argüelles et al. (2007) y C. Heredia et al. (2007)
Superíndices 1 o 2 hacen referencia a componentes obtenidos mediante secuencias lógicas o propuestas en los trabajos.

Al llegar a este punto se observan ligeras diferencias en los componentes obtenidos mediante las secuencias lógicas y las propuestas por los autores, especialmente en la investigación de Heredia y col (2007); esto se debe posiblemente a la subjetividad del proceso de agrupación de componentes en componentes. Por esta razón no se ha implementado una secuencia de agrupación de componentes en el software, llegando únicamente hasta la determinación de relevancia de los componentes de forma secuencial. Finalmente mencionar que se observaron ciertas carencias en las bases de datos de composición utilizadas en este trabajo (Greenfield y Southgate, 2003; Department of agriculture - USA, 2009). Estas bases de datos no incluyen composición de la fase gas del alimento. Esto es razonable desde el punto de vista nutricional; en cambio es muy importante en la metodología SAFES ya que esta fase está relacionada con las propiedades de transporte (calor, materia) y propiedades mecánicas (textura).

- *Determinación de fases estructuradas.* Al igual que en el caso de los componentes, se procedió a determinar las fases estructuradas de los trabajos analizados mediante la aplicación de la secuencia de preguntas-respuestas que se observa en el apartado 3.3.4.

Las fases estructuradas determinadas mediante la secuencia lógica, para las tres investigaciones en antes mencionadas, se aprecian en la tabla 3.

Tabla 3. Fases estructuradas de los trabajos analizados y las obtenidas con las secuencias lógicas

A ¹	A ²	B ¹	B ²	C ¹	C ²
Matriz solida	Matriz solida	Matriz solida	Matriz solida	Matriz solida	Matriz solida
Liquido intracelular	Liquido intracelular	Liquido	Fase liquida	Liquido extracelular	Liquido intracelular
Liquido extracelular	Liquido intracelular	Grasa liquida	Fase grasa	Liquido intracelular	Liquido extracelular
Sólidos solubles	Sólidos solubles	Grasa solida	Fase grasa solida	Sólidos solubles sólidos	Sólidos solubles precipitados
sólidos precipitados	sólidos precipitados				
Gas	Gas			Grasa liquida	Fase grasa
				Grasa solida	Fase grasa solida

A. Betoret et al. (2007), B. Argüelles et al. (2007) y C. Heredia et al. (2007)

Los superíndices 1 y 2 hacen referencia a las fases estructuradas determinadas por la secuencia lógica y las propuestas por los autores del trabajo respectivamente

En la determinación de fases estructuradas no se aprecian mayores diferencias entre los resultados de la aplicación de las secuencia lógicas y las propuestas en las investigaciones.

3.63.5 Desarrollo del software en lenguaje Visual Basic 6.0

Una vez establecidas las especificaciones técnicas y la arquitectura del sistema y validadas las secuencias lógicas de fases y componentes, se procedió al desarrollo del software en lenguaje Visual Basic 6.0.

Los detalles de las interfaces se muestran en las figuras 10-13. La figura 10 muestra las ventanas *autenticación*, *supervisor*, *gestión de usuarios* y *gestión de proyectos*.

A continuación se dan algunos detalles de dichas ventanas.

- *Ventana autenticación.* Esta ventana mediante la Rutina autenticación/creación de usuarios, permite el acceso al software a los usuarios cuya cuenta se encuentra registrada en la tabla usuarios de la base de datos.
- *Ventana supervisor.* Sirve de contenedor para las ventanas del software, a excepción de la ventana Autenticación; así como de las variables globales para ejecución del programa.
- *Ventana gestión de usuarios.* Habilita a los usuarios de nivel administrador la posibilidad de crear nuevos usuarios o modificar los existentes. Las opciones de creación o modificación de usuarios, habilitadas mediante menú contextual, se desarrollan en sub-ventanas. En estas el usuario con nivel administrador ingresa información para

nuevos usuarios o modifica la información de usuarios preexistentes, actualizando la base de datos.

- *Ventana gestión de proyectos.* Esta ventana lista los proyectos del usuario, accediendo a la tabla proyectos de la base de datos, mediante la rutina selección, modificación y/o creación de proyectos; así mismo posibilita la creación de nuevos proyectos.

En esta ventana, al seleccionar un proyecto, el software verifica la existencia de un libro Excel, correspondiente al usuario y proyecto, cargando este en memoria operativa. En caso de no existir lo crea y carga en memoria operativa.

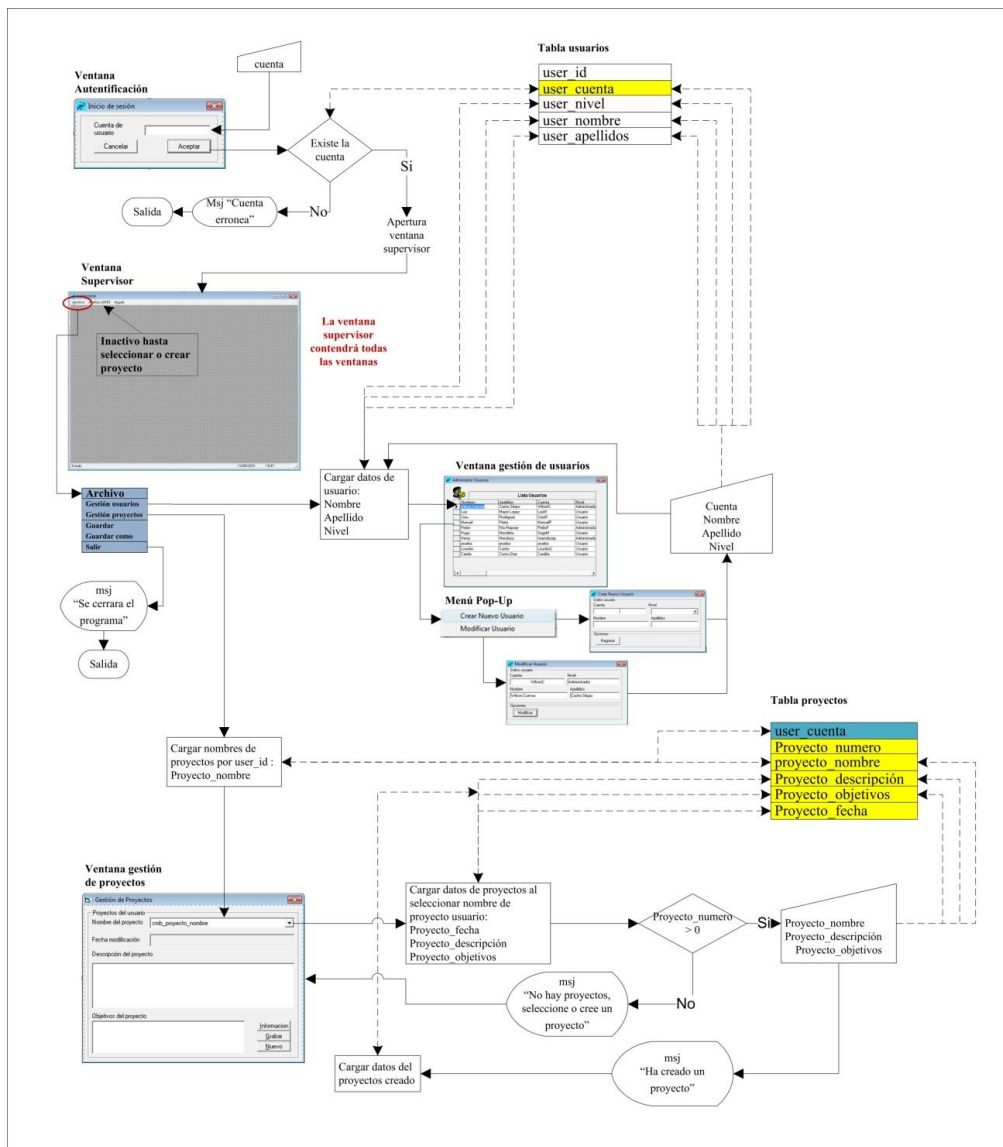


Figura 10. Ventanas autenticación, supervisor, gestión de usuarios y gestión de proyectos

En la figura 11 se muestran las ventanas *diagrama de flujo* y *materiales*, las cuales tiene como finalidad facilitar al usuario la elaboración de un diagrama de flujo en base a la metodología SAFES, constituido por etapas

de cambio y flujo de materiales y dispuestos automáticamente en una secuencia ordenada.

Además, estas ventanas brindan al usuario la posibilidad de introducir detalles, tanto de las etapas de cambio como de flujo de material, y actualizar las tablas *etapas de cambio* y *flujo de material* de la base de datos.

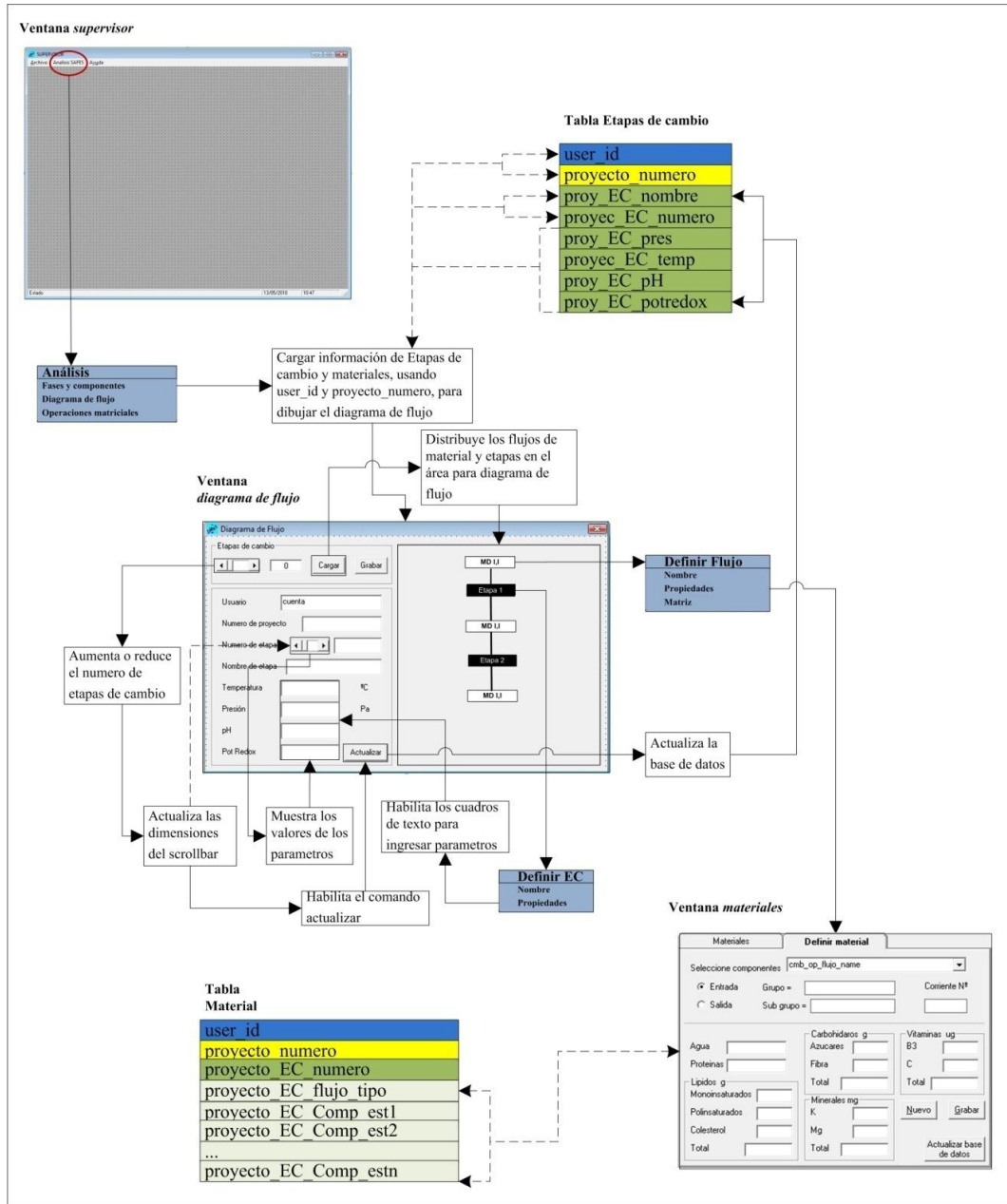


Figura 11. Ventana Diagrama de flujo y materiales

En la figura 12, se muestra esquemáticamente la ventana de determinación de fases y componentes. Esta ventana se comunica con la base de datos, tabla *componentes* y tabla *fases estructuradas*, precargando la selección de fases estructuradas y componentes estructurados del

proyecto en estudio o habilitando la selección de los mismos. Además, cuenta con la posibilidad de introducir nuevas fases o componentes lo que actualiza la tabla correspondiente en la base de datos.

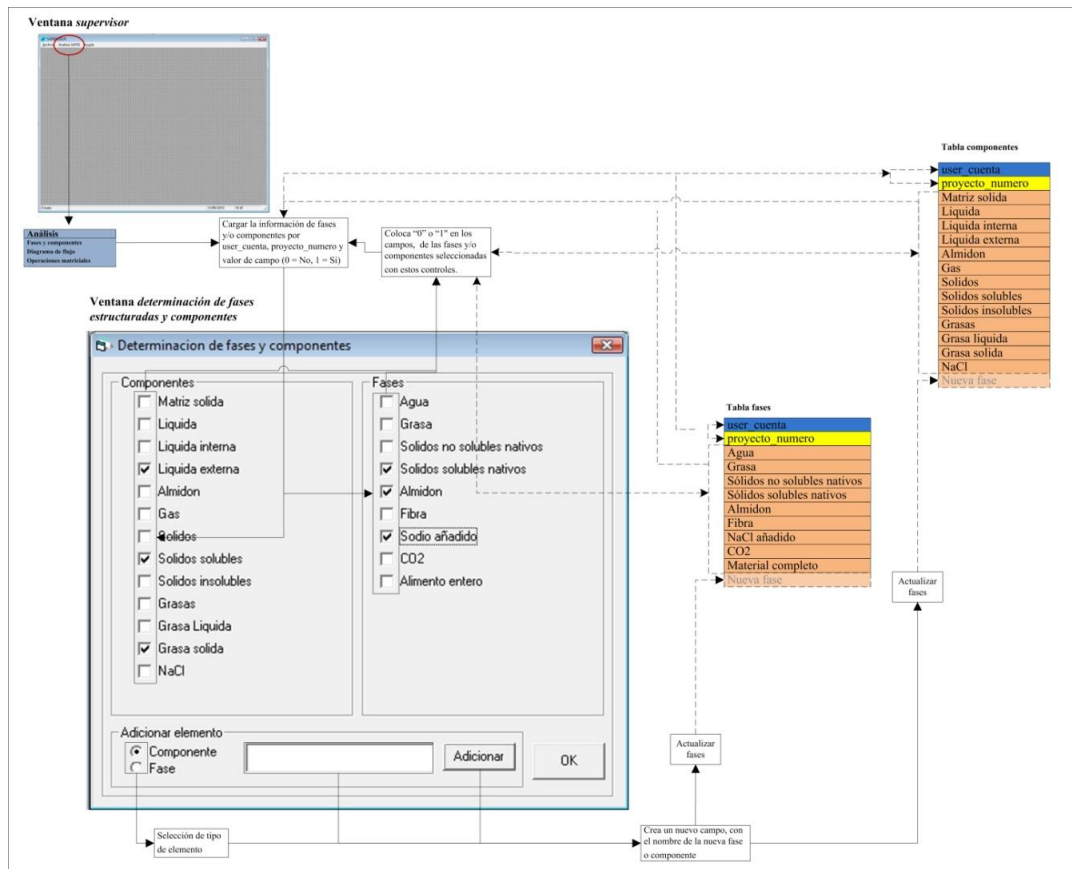


Figura 12. Ventana Determinación de fases y componentes

En la figura 13 se muestra la disposición de las últimas dos ventanas del software, ventana de *desarrollo de matrices* y ventana de *operaciones matriciales*. Dichas ventanas se encuentran íntimamente ligadas con la ventana de diagrama de flujo, habilitándose para su uso mediante menús contextuales.

La ventana de *desarrollo de matrices* utiliza la información de fases estructuradas y componentes, almacenada en memoria, para desarrollar el arreglo bidimensional del espacio SAFES de fases, componentes y estados de agregación. El arreglo tiene funcionalidad de hoja de cálculo y utiliza las funciones de cálculo comunes en Microsoft Excel, posibilita al usuario para definir los estados termodinámicamente no viables, inhabilitando los mismos y permite la introducción de datos, balances de materia y ecuaciones de predicción con los cuales se construyen las matrices descriptivas del proyecto.

La ventana de *operaciones matriciales*, permite al usuario realizar operaciones sencillas con las matrices a fin de obtener matrices de cambio, descriptivas o transformadas. Las tres operaciones con que cuenta el

programa se seleccionan a través de un control del tipo “pestañas”. En cada pestaña se cuenta con cuadros de lista en los cuales se cargan las matrices existentes y un cuadro para introducir el nombre de la matriz a crear. Al proceder con la creación de la matriz se carga la ventana desarrollo de matrices con el resultado de la operación solicitada, pero con los cuadros de texto deshabilitados para evitar cambios en los datos obtenidos.

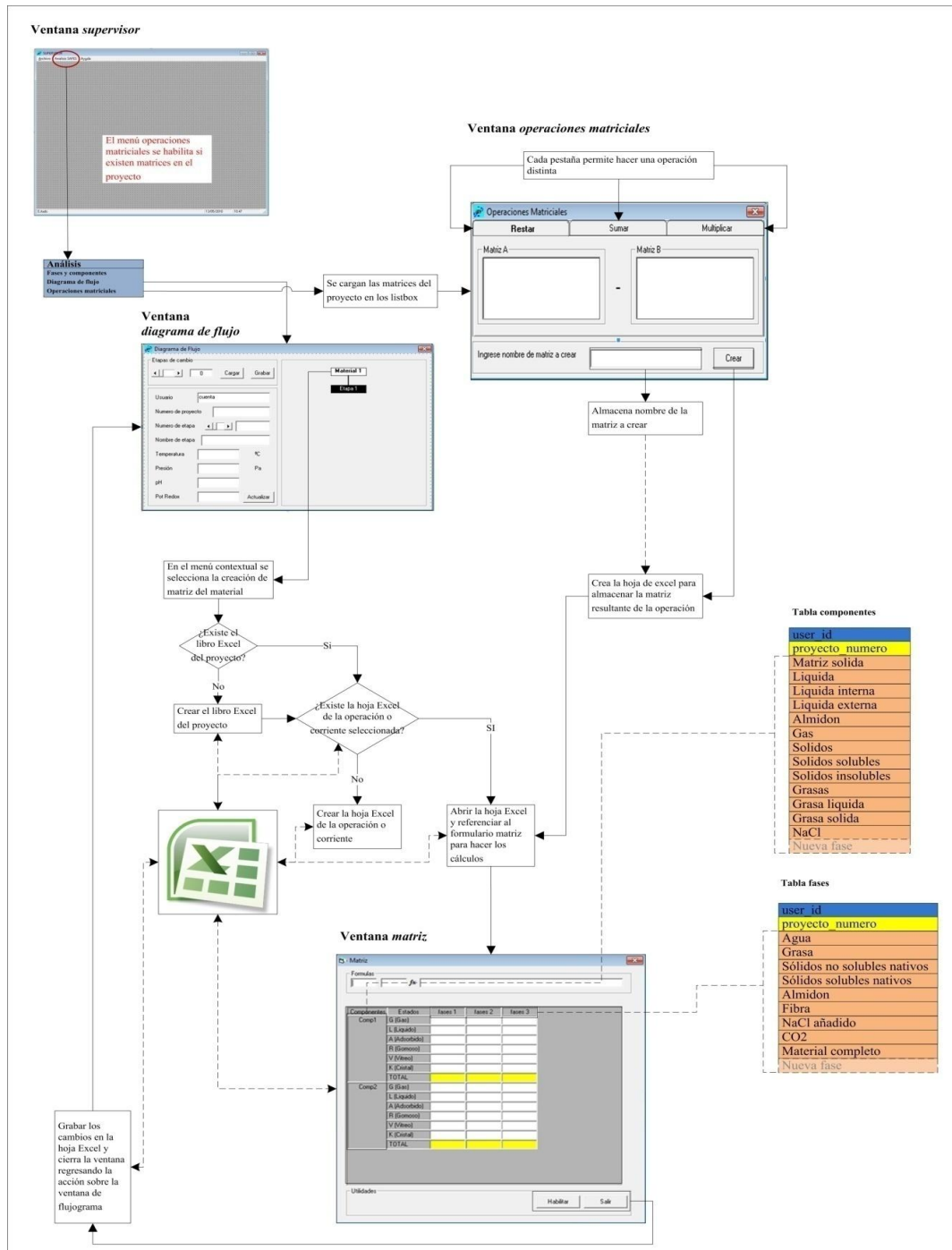


Figura 13. Ventanas Diagrama de flujo, Matriz y Operaciones Matriciales

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.2 Conclusiones del trabajo

- Se han encontrado diferentes paquetes informáticos para la simulación de procesos industriales. Sin embargo, no se han encontrado este tipo de herramientas informáticas orientadas a la simulación de procesos alimentarios. Esto es debido a la complejidad de los alimentos y de los mecanismos implicados en sus procesos de transformación.
- La aplicación de la metodología SAFES se ha realizado anteriormente mediante el uso de herramientas informática no especializadas; esto hace que el análisis resulte tedioso y requiera un elevado número de cálculos que se realizan de forma semiautomática, pudiéndose generar errores de forma frecuente.
- Se ha demostrado que la determinación de fases estructuradas y componentes relevantes se pueden realizar automáticamente mediante el uso de unas secuencias lógicas de preguntas-respuestas mejorando la sistematización de la metodología.
- Se ha desarrollado un software para el análisis de productos y procesos alimentarios, basado en la metodología SAFES. Este software cuenta con los elementos básicos necesarios para la aplicación de dicha metodología, tales como: (i) El espacio SAFES de fases estructuradas, componentes y estados de agregación; (ii) Diagramas de flujo SAFES; (iii) Matrices descriptivas, transformadas y de cambio.
- Como conclusión general, se ha demostrado que la metodología SAFES traducida en una serie de unas secuencias puede ser utilizada en el desarrollo de una aplicación informática para el análisis de procesos y productos alimentarios. El software brinda un entorno para la aplicación de la metodología SAFES orientando al usuario durante el proceso de análisis y disminuyendo el tiempo requerido para su aplicación.

4.3 Recomendaciones de trabajo futuro

- Desarrollar e implementar una secuencia lógica para la agrupación de componentes relevantes.
- Desarrollar una base de datos de composición de alimentos y otras de modelos de predicción de propiedades de alimentos y vincularlas al software, a fin de incrementar la funcionalidad de la actual versión.
- Desarrollo e implementación de un tutorial para los usuarios del software.
- Posibilitar el uso del software vía online.

5 REFERENCIAS

- Argüelles, A., Castelló, M., Sanz, J. y Fito, P. 2007. Application of SAFES methodology in Manchego-type cheese manufacturer. *Journal of Food Engineering* 83, 229-237.
- Betoret, N., Andrés, A., Seguí, L. y Fito, P. 2007. Application of SAFES (Systematic Approach to Food Engineering Systems) methodology to dehydration of apple by combined methods. *Journal of Food Engineering* 83, no. 2: 186-192.
- Bruce, A. 2006. *Introduction to Chemical Engineering Computing*. Estados Unidos: Wiley-Interscience.
- Datta, A. y Sablani, S. 2007. Mathematical modeling techniques in food and bioprocesos: and overview. En *Handbook of food and bioprocess modeling techniques*. Estados Unidos: CRC/Taylor & Francis.
- Department of agriculture - USA. 2009. USDA National nutrient database for standard reference. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>.
- Dobre, T. y Sánchez, J. 2007. *Chemical Engineering, modelling, simulation and similitude*. Alemania: Weinheim : Wiley-VCH.

- Fairley, R. 2009. Managing and leading software project. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Fito, P., Castelló, M. y Argüelles, A. y Fito, P. 2007^a. Application of the SAFES (systematic approach to food engineering systems) methodology to roasted coffee process. Journal of Food Engineering 83, 211-218.
- Fito, P., Le Maguer, M., Betored, N. y Fito, P. 2007b. Advanced food process engineering to model real foods and processes: The "SAFES" methodology. Journal of Food Engineering 83, 173-185.
- Greenfield, H. y Southgate, D. 2003. Datos de composición de alimentos: obtención, gestión y utilización. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Heredia, A., Andrés, A. y Betored, N. 2007. Application of the SAFES (Systematic Approach of Food Engineering Systems) methodology to salting, drying and desalting of cod. Journal of Food Engineering 83, 286-276.
- Jenkins, N. 2005. How to Make Software, an introduction to software development. Estados Unidos. <http://www.nickjenkins.net/prose/makingSoftware.pdf>.
- McConnell, S. 2004. Code Complete. Estados Unidos: Microsoft Press.
- Munson, J. 2006. Software specification and design. Estados Unidos: Auerbach Publications.
- Ruiz, M., Ramos, I. y Toro, M. 2006. New trends in software process modeling. Vol. 18. 18 vols. Software Engineering and Knowledge Engineering. Estados Unidos: World Scientific Publishing Co.
- Sandeep, K., Irudayaraj, J. y Soojin, J. 2001. Introduction to modeling and numerical simulation. En Food processing operations modeling: design and analysis. Food science and technology. Estados Unidos: Marcel Dekker Inc.