



Facultad de Ingeniería Informática
Universidad Tecnológica de La Habana
José Antonio Echeverría
cujae

Sistema para el entrenamiento de operarios en la
Industria Alimentaria Cubana

**Trabajo de diploma para optar por el título de
Ingeniería en Informática**

Autora: Mónica Montoto Montané

Tutora: Dra. Raisa Socorro Llanes

La Habana, Cuba
7 de diciembre de 2022

Resumen

La capacitación laboral es un método aplicado por las empresas para que sus trabajadores adquiera nuevos conocimientos profesionales. Actualmente existen sistemas que permiten realizarlas de forma automática, sin la presencia obligatoria de un superior, logrando ahorrar numerosos recursos de valor, como el tiempo y el capital humano. En industrias donde la jornada laboral es de 24 horas, contar con estos sistemas representa una ventaja notable en la producción, de ahí la necesidad de incorporarlos como herramientas permanentes. Para evaluar los resultados obtenidos, por lo general, los sistemas de entrenamiento automatizados tienen incorporado un método de evaluación automático. Uno de los métodos más empleados es el uso de sistemas expertos.

La industria alimentaria de un país juega un rol sumamente importante dentro de la economía. En Cuba, esta industria se caracteriza por su trabajo ininterrumpido y su personal que cambia con frecuencia. Debido a estas características, resulta casi imposible lograr una capacitación presencial de los empleados, lo que provoca que no todos posean el mismo nivel de conocimiento y por ende, no todos puedan responder ante situaciones determinadas.

El Sistema Experto para el Control de Procesos Químicos (SECPROIT) es un software creado para dar solución al problema de la Industria Alimentaria Cubana. Su objetivo es capacitar a los operarios ante los procesos productivos de la industria. En él, se aplican un conjunto de entrenamientos, donde se miden la capacidad de respuesta de los trabajadores ante situaciones críticas y sus conocimientos sobre los procesos. Los resultados se evalúan mediante el uso de un sistema experto. Actualmente contiene un grupo de restricciones que impiden su empleo en las industrias.

Esta investigación tiene como objetivo resolver las limitaciones existentes en el sistema SECPROIT.

Palabras claves: capacitación laboral, sistemas de capacitación automatizado, sistemas de entrenamiento, sistemas expertos, Sistema Experto para el Control de Procesos Químicos (SECPROIT), Sistema Generador de Bases de Conocimiento (SGBC)

Abstract

Job training is a method applied by companies so that their workers acquire new professional knowledge. There are currently a set of systems that allow this training to be carried out automatically, without the mandatory presence of a superior. In this way, many valuable resources are saved, such as time and human capital. In industries where work is uninterrupted, having these systems represents a notable advantage in production, hence the need to incorporate them as permanent tools. When it comes to evaluating the results obtained, in general, automated training systems have an automatic evaluation method incorporated. One of the most used methods is the use of expert systems.

The food industry of a country plays an extremely important role within the economy. In Cuba, this industry is characterized by its constant work and its changing personnel. Due to these characteristics, it is almost impossible to achieve face-to-face training for employees, which means that not all of them have the same level of knowledge and therefore, not all of them can respond to certain situations.

The Expert System for the Control of Chemical Processes (SECPROIT) is a software created for the training of operators before the productive processes of the Cuban Food Industry. In it, a set of trainings are applied where the response capacity of the workers in critical situations and their knowledge about the processes are evaluated. The results are evaluated through the use of expert systems. It currently contains a group of restrictions that prevent its use in industries.

This research aims to solve the existing limitations in the SECPROIT system.

Keywords: job training, automated training systems, training systems, expert systems, Expert System for the Control of Chemical Processes (SECPROIT), Knowledge Base Generator System (SGBC)

Índice general

Introducción	1
Capítulo 1: Fundamentos teóricos	5
1.1. Sistemas de capacitación laboral	5
1.1.1. Características de un sistema de capacitación	5
1.1.2. Importancia de una buena capacitación	6
1.1.3. Proceso de evaluación en una capacitación	6
1.1.4. Fases del proceso de evaluación	7
1.1.5. Criterios de evaluación de un proceso	8
1.1.6. Proceso de validación de las respuestas	8
1.2. Sistemas de capacitación automatizados	8
1.2.1. Ventajas en un sistema de capacitación automatizado	9
1.2.2. Tipos de preguntas en un sistema de capacitación automatizado	9
1.2.3. Colores utilizados en un sistema digital	10
1.2.4. Proceso de validación de las respuestas	11
1.3. Sistemas expertos	12
1.3.1. Desventajas de los sistemas expertos	12
1.3.2. Ventajas de los sistemas expertos	12
1.3.3. Componentes de un sistema experto	13
1.4. Sistema Generador de Bases de Conocimiento	14
1.4.1. Funcionamiento del generador	14
1.4.2. Información de los ficheros anm	15
1.4.3. Información de los ficheros drl	15
1.5. Sistema de entrenamiento SECPROIT	16
1.5.1. Funcionamiento del SECPROIT	16
1.5.2. Limitaciones actuales del sistema	17
1.6. Conclusiones parciales	17
Conclusiones	19
Recomendaciones	19

Referencias bibliográficas	20
Anexos	23

Índice de tablas

Índice de figuras

1.1. Fases en un proceso de evaluación	7
1.2. Gama cromática de colores (cálidos y fríos)	11
1.3. Componentes de un sistema experto	14
1.4. Estructura del fichero <i>drl</i> (reglas)	15

Introducción

En la actualidad, hablar de tecnología es pensar en herramientas que hace diez años parecían futuristas y muy difíciles de conseguir, sin embargo, hoy es posible lograr cambios significativos en empresas y hogares, gracias a los avances tecnológicos [1]. Cada vez es más común escuchar sobre la revolución tecnológica, que crece de manera exponencial y pretende transformar por completo el sector industrial. Estos desarrollos van desde la mecanización de tareas hasta los procesos industriales autónomos, en los que no se necesita la intervención humana para realizar un trabajo [2].

Para mediados del año 2019, solo un 31 % de las industrias en América Latina y el Caribe poseían procesos automatizados o avances digitales. Esta cifra cambió bruscamente al año siguiente, debido a que la pandemia de la COVID-19 dejó una huella devastadora en la economía. Las empresas que presentaban un avance digital pudieron resistir mejor a la crisis, en términos de impacto sobre las ventas, beneficios y trabajadores despedidos. A partir de ese momento, muchas instituciones tomaron conciencia y comenzaron a incluir nuevos avances tecnológicos en sus procesos productivos. Hoy en día, el 86 % de las industrias latinoamericanas cuentan con un desarrollo industrial automatizado y se espera que este cambio se mantenga o aumente en el futuro [3].

Entre las industrias más importantes de un país se encuentra la industria alimentaria, que comprende el sector de la economía que se ocupa de todos aquellos procesos relacionados con la alimentación de las personas. Está encaminada a satisfacer la necesidad más básica de la población, sin la cual no podríamos sobrevivir: la nutrición. Mundialmente, posee como características la gran variedad de materias primas que emplea, el número elevado de procesos que maneja y su continuo crecimiento, relacionado al ritmo con el que crece la población [4].

Cuando se detiene de forma no programada un proceso productivo en una empresa, por lo general trae consigo numerosas pérdidas. En el caso de las industrias alimentarias, estas afectaciones pueden verse reflejadas en grandes daños económicos ya que, en la mayoría de los casos, este tipo de industrias trabajan con materias que no pueden ser reutilizadas; pero no son las únicas afectaciones que se pueden encontrar. En sus procesos productivos, se elaboran distintos tipos de alimentos a partir de un producto determinado, donde cada producto pertenece a una escala de riesgo (A, B o C). Esta escala indica la probabilidad que tiene el proceso de causar daños en la salud (A para

alta, B para media y C para baja). Es decir, si se detiene un proceso productivo en la industria alimentaria no solo traería consigo afectaciones en la economía, sino que también puede verse afectada la salud de los trabajadores o incluso de la población [5].

La Industria Alimentaria Cubana se caracteriza, además, por poseer jornadas laborales ininterrumpidas y un personal que cambia frecuentemente. Esta situación dificulta la capacitación de sus trabajadores, por lo que no todos los que laboran poseen el mismo nivel de conocimiento. Como consecuencia, al ocurrir un error en un proceso productivo, no siempre se encuentra el experto capaz de solucionar la falla, dejando como única alternativa: detener el proceso [6].

Partiendo de esa dificultad, el Instituto de Investigación de la Industria Alimentaria (IIIA), junto con las facultades de Ingeniería Química e Ingeniería Informática de la Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), desarrolló dos sistemas de software: un Sistema Generador de Bases de Conocimiento (SGBC) y un Sistema Experto para el Control de Procesos Químicos (SECPROIT). El primero genera bases de conocimiento que contienen la información referente a los procesos productivos que pueden ocurrir en una fábrica, estructurada en: variables, causas por las que puedan estar en peligro y recomendaciones (pasos a seguir en caso de accidentes) [7]. El segundo, se utiliza para producir entrenamientos y capacitar a los operarios de la fábrica [8]. Con estos sistemas, los trabajadores se entrenarían sobre los procesos productivos que maniobran y se reducirían los riesgos de errores por desconocimiento. Lamentablemente, el sistema SECPROIT posee un grupo de restricciones que impidieron que fuese implementado en las industrias.

Por lo tanto, la situación problemática presente en la Industria Alimentaria Cubana sigue siendo la misma, puesto que no se ha podido implementar un sistema de entrenamiento estable que solucione el problema. Partiendo de este principio, una solución viable sería desarrollar una actualización funcional del SECPROIT, que pueda resolver el problema de investigación inicial: ¿Cómo lograr una capacitación total de los operarios, ante la toma de decisiones en una situación crítica?

En función de esa problemática, el objetivo general de esta investigación es: *Rectificar las limitaciones existentes en el sistema SECPROIT para capacitar a los operarios ante los procesos productivos de la fábrica.*

Analizando las restricciones que posee el SECPROIT, se perciben un número de problemas que son necesarios enmendar. Estas modificaciones deben realizarse tanto en la lógica, como en la estructura, en la base de datos y en las interfaces de usuario. Es decir, se necesitan transformar todas las capas del sistema. Según [9], cambiar un código ajeno, con el fin de añadirle una nueva configuración, adaptarlo a una nueva disposición y modificar su base de información, resulta más complejo que elaborar uno de cero. Por lo tanto, con el fin de rectificar las limitaciones actuales y generar una actualización, resulta más factible comenzar un nuevo software, siguiendo el modelo existente.

Tomando en cuenta esta premisa, se definen los siguientes objetivos específicos y sus tareas correspondientes:

1. Asimilar los fundamentos teóricos de la investigación y analizar los nuevos aspectos que puedan ser incorporados
 - Extraer los requisitos funcionales y no funcionales que debe cumplir el nuevo sistema a desarrollar
 - Investigar los diferentes tipos de preguntas existentes en un sistema de entrenamiento y seleccionar los que mejor se ajusten al proceso evaluativo del SECPROIT
2. Desarrollar el nuevo sistema para la capacitación de operarios
 - Diseñar diagramas auxiliares y modelados UML en base al sistema que se va a desarrollar
 - Implementar la base de datos del nuevo sistema de capacitación
 - Desarrollar funcionalidades que permitan la administración del sistema
 - Incorporar la configuración de un entrenamiento asociado a un proceso determinado
 - Implementar la generación de preguntas para cada fase del entrenamiento
 - Desarrollar un proceso de evaluación parcial para cada etapa y la evaluación integral del operario en un proceso
 - Diseñar e incluir una nueva interfaz gráfica
3. Validar el nuevo sistema de capacitación
 - Diseñar un conjunto de pruebas que verifiquen el correcto funcionamiento del sistema
 - Ejecutar las pruebas diseñadas
 - Documentar los resultados obtenidos

El objeto de estudio de esta investigación son los sistemas de entrenamiento automatizados, los sistemas expertos y los sistemas de información basados en reglas de producción. De ellos, se centra la atención en el campo de acción que comprende el Sistema Experto para el Control de Procesos Químicos (SECPROIT).

Este proyecto presenta un aporte tanto en el marco teórico como en el práctico. En el marco teórico, se construye un sistema de entrenamiento capaz de ejercitar sobre cualquier información que se brinde en sus bases de conocimiento. En la práctica, se

desarrolla un sistema de software para la capacitación de los operarios de la Industria Alimentaria Cubana.

En cuanto a la estructura de este trabajo, está dividido en tres capítulos. En el capítulo 1 se encuentran los conceptos fundamentales y los antecedentes de esta investigación. El capítulo 2 describe el diseño e implementación del nuevo sistema, utilizando diferentes artefactos UML, describiendo los requisitos funcionales y no funcionales y mostrando la vista de la arquitectura y los patrones utilizados. Por último, en el capítulo 3 se presenta la documentación de las pruebas que se le realizaron al software.

Capítulo 1

Fundamentos teóricos

En el presente capítulo se encuentran los fundamentos teóricos del nuevo sistema que se pretende desarrollar. Comprende un análisis de los sistemas de capacitación presencial y automatizados, reflejando un estudio de las preguntas más utilizadas, así como los colores y métodos de evaluación. Se introduce el término de sistema experto, con sus características y ventajas. Se detallan las funcionalidades del Sistema Generador de Bases de Conocimiento (SGBC) y se profundiza el trabajo con el sistema SECPROIT, finalizando con las conclusiones del capítulo.

1.1. Sistemas de capacitación laboral

La capacitación laboral es un método aplicado por las empresas para que su personal adquiriera nuevos conocimientos profesionales. Por lo general, se produce ante un ascenso o incorporación, aunque no son los únicos motivos. Busca perfeccionar al colaborador en su puesto laboral, en función de las necesidades de su empresa. Es un proceso estructurado con metas bien definidas. Surge en el mundo como respuesta a la necesidad de mejorar permanentemente la calidad y formación de recursos humanos. Lo ideal es que se desarrolle de forma continua, ya que la constante formación del personal deriva en resultados positivos tanto para el grupo de trabajo como para la organización en la que se realiza [10].

1.1.1. Características de un sistema de capacitación

Un sistema de capacitación puede ofrecer diferentes aplicaciones en función del modelo de negocio que utilice. Su versatilidad permite adaptarse a las necesidades particulares de cada sector. Sin embargo, según [11], la mayoría de las capacitaciones contienen las siguientes características:

- Son capaces de gestionar los distintos cursos impartidos, la asistencia y la inversión en formación de la empresa

- Asignan a los empleados que deberán asistir y a los profesionales responsables de analizar sus resultados
- Detectan las carencias formativas del personal antes de que influyan en el desarrollo del trabajo
- Clasifican las distintas actividades formativas en base a su categoría y catálogo
- Registran y consultan el progreso del aprendizaje de los empleados en tiempo real

1.1.2. Importancia de una buena capacitación

La capacitación laboral juega un papel primordial para el logro de tareas y proyectos, dado que es el proceso mediante el cual los trabajadores adquieren conocimientos, herramientas, habilidades y actitudes para interactuar de forma correcta y segura en el entorno laboral. Entre los principales beneficios que aporta, según [12], se destacan:

- Calidad y mejora en el resultado de las tareas
- Reducción en tiempos de trabajo y supervisión
- Solución de problemas con diferentes visiones
- Sensibilización ante nuevos retos
- Desarrollo ético y motivación del personal
- Seguridad y autoestima en los trabajadores
- Mayor especialización

1.1.3. Proceso de evaluación en una capacitación

La evaluación de una capacitación no puede depender de un solo instrumento o técnica, ya que de esa forma solo se mide un tipo de aprendizaje. Entre los criterios para calificar más comunes están: la exactitud de la respuesta, el proceso que se siguió para llegar a la misma, la cantidad de intentos necesarios utilizados para hallar la solución y, en algunos casos, el tiempo necesitado para dar la respuesta [13].

Una evaluación posee dos propósitos fundamentales: analizar en qué medida se han cumplido los objetivos y proporcionar una reflexión de los que realizaron el entrenamiento en torno a su propio proceso de aprendizaje (metacognición). Analizar el cumplimiento de los objetivos permite detectar posibles fallas en el proceso y poder superarlas en un futuro [14].

A modo de resumen, para obtener una correcta evaluación se deben tener en cuenta tantas herramientas como parámetros influyan.

1.1.4. Fases del proceso de evaluación

Según [14], un proceso de evaluación debe estar integrado por cinco etapas fundamentales (*Figura 1.1*). Cada una de ellas, va a marcar un conjunto de acciones, que al final se interpretarán como un buen entrenamiento:

1. **Recogida de datos:** es la recopilación sistemática de toda la información a lo largo del proceso completo de enseñanza-aprendizaje. Los datos recogidos deben tener concordancia con las metas trazadas, ser suficientes, representativos, relevantes y ponderados, en función del peso otorgado a cada uno de los objetivos. En los sistemas en línea las posibilidades de registrar estas evidencias son inmensas.
2. **Puntuación de las pruebas:** se realiza una vez medidos, de manera cuantitativa o cualitativa, los distintos bloques de información, con las ponderaciones, criterios e indicadores que se hayan establecido. Se utiliza para medir los resultados obtenidos en el entrenamiento.
3. **Juicio de valor:** puede hacerse limitándose a criterios de grupo (evaluación normativa), refiriéndose a criterios de superación de objetivos y contenidos (evaluación de criterio) o teniendo en cuenta la personalidad, posibilidades y limitaciones del propio sujeto del aprendizaje (evaluación personalizada).
4. **Toma de decisiones:** habitualmente denominada calificación, se basa en la decisión a partir del resultado. Trae consigo una serie de consecuencias personales, administrativas, económicas y laborales. La acción resultante influye directamente en el adiestrado.
5. **Información a los interesados:** es la etapa final, la confirmación de que concluye el entrenamiento y donde se dan a conocer los resultados obtenidos.

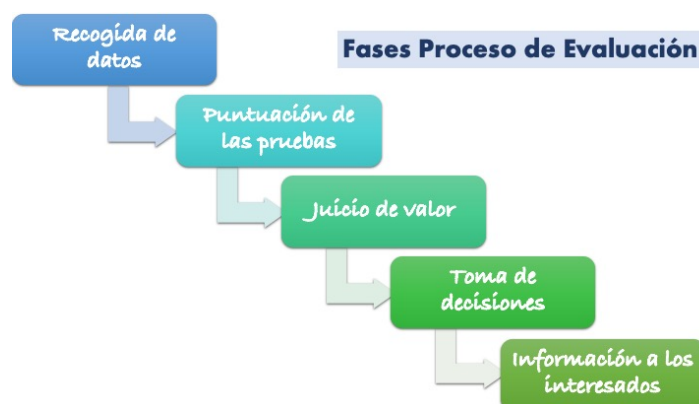


Figura 1.1: Fases en un proceso de evaluación

1.1.5. Criterios de evaluación de un proceso

Según la RAE (Real Academia Española), un criterio es una norma utilizada para conocer la verdad. Sin embargo, en cuanto a las evaluaciones, es un parámetro en función del que se juzgarán los atributos de un objeto de estudio [15]. En este sentido, los criterios se construyen en función de lo que se desea obtener de un entrenamiento. Por lo general, son normas que se encuentran implícitas y permiten informar a los capacitados acerca del logro o fracaso de una determinada tarea.

Pueden existir tantos criterios como parámetros se interpreten. Cada uno es el reflejo de un campo importante que se desea controlar. Por ejemplo: en los entrenamientos donde el tiempo influye en la evaluación, no sólo se mide la capacidad de aprendizaje del profesional, también se trata de evaluar la rapidez con la que reacciona, contando como parámetro importante para el desarrollo de la tarea. Este ejemplo se puede notar en el campo de la medicina [16].

1.1.6. Proceso de validación de las respuestas

Una vez terminada la capacitación se comprueban cuáles de los resultados obtenidos son correctos y cuáles no. Para ello se deben comparar las respuestas del evaluado con una fuente de confianza, que contenga la información verídica de lo que se está tratando. Estas fuentes de confianza se conocen por el nombre de: bases de conocimiento [17].

A partir de estas bases se verifica si los datos en las respuestas del evaluado coinciden con la información real contenida. Este proceso puede realizarse tanto de manera manual, semiautomática o automática.

1.2. Sistemas de capacitación automatizados

Teniendo en cuenta el concepto de capacitación, un sistema de capacitación automatizado es un método de enseñanza alternativo, creado para el adiestramiento de los trabajadores. Es un software que, principalmente, permite el aprendizaje de los usuarios sin necesidad de una supervisión constante. Por lo general, resulta más efectivo que las prácticas de enseñanza presencial, debido a que el estudiante trabaja solo y puede determinar su propia velocidad de aprendizaje, usando una amplia variedad de herramientas y métodos para la transferencia del conocimiento [18].

A modo de resumen, es un programa informático que brinda una solución de recursos humanos, ayuda en la formación de los trabajadores y aumenta la productividad empresarial.

1.2.1. Ventajas en un sistema de capacitación automatizado

Un sistema de entrenamiento asistido por computadora, permite ofrecer el mismo nivel de adiestramiento para cada usuario del sistema, en cuanto a rigor y evaluación. Uno de los problemas principales de la capacitación de los empleados de manera presencial es que las sesiones son frecuentemente inconsistentes y las diferencias en el nivel de habilidad del formador pueden tener un impacto significativo en el éxito del empleado. Al contar con un sistema automatizado, solo se necesita una base de conocimiento para garantizar el mismo nivel de entrenamiento para todos. Por otra parte, una capacitación presencial requiere la existencia de una persona, por lo general un experto, que supervise al adiestrado y califique su rendimiento. En cambio, con estos sistemas, no es necesario desempeñar esta tarea, el propio software se encarga de la supervisión y evaluación del capacitado [19].

1.2.2. Tipos de preguntas en un sistema de capacitación automatizado

Con el paso del tiempo se generan nuevos métodos de estudio y con estos, nuevas formas de preguntas y calificaciones. Sin embargo, en el momento de diseñar un sistema automatizado, no es menos cierto que existen algunas variantes más sencillas y, por ende, más utilizadas. Según [20], los tipos de preguntas que mayormente se emplean en los sistemas de capacitación automatizados son:

- **Verdadero o falso:** contienen una declaración que se debe indicar si es verdadera o no. Permiten responder en poco tiempo, son fáciles, rápidas de calificar y se corrigen de forma automática.
- **Opción múltiple:** se componen de una pregunta (raíz) con múltiples respuestas posibles. Al poder incluir múltiples opciones válidas, podrían darse por superadas al marcar cualquiera de las respuestas o cuando se marquen todas. Se caracterizan por ser fáciles, rápidas de calificar, corregirse automáticamente y utilizarse para evaluar los conocimientos en una amplia gama de contenidos.
- **Emparejar, relacionar u ordenar:** por lo general se emparejan cada una de las opciones del primer bloque con las opciones dadas en el segundo bloque, o se ordenan bloques de modo que quede una secuencia correcta de acuerdo a un patrón previamente establecido. Se suelen usar en aquellos cursos donde la adquisición de conocimientos muy detallados es un objetivo importante. Son preguntas fáciles de diseñar, rápidas de calificar y se corrigen automáticamente. Estadísticamente, se tarda más en responder este tipo de preguntas que las preguntas anteriores.

- **Respuesta corta:** basta con que se escriban un par de palabras o una frase sencilla. Una alternativa más común a este tipo de preguntas es la de cubrir los espacios en blanco con una palabra. Son de gran utilidad a la hora de demostrar los conocimientos basados en hechos o palabras claves. La dificultad para calificarlas depende del estilo que se decida emplear.

1.2.3. Colores utilizados en un sistema digital

Se pudiese llegar a pensar que, en un sistema digital, los colores que se utilizan son totalmente aleatorios, pero esto es un error. Lo cierto es que unas tonalidades u otras provocan en el cerebro diferentes sensaciones que, aunque no se pueden percibir físicamente, influyen tanto en el estado de ánimo como en la productividad o creatividad. Sin embargo, no todos los colores tienen el mismo efecto en las personas, pero no es menos cierto que una gran mayoría comparten las mismas reacciones. De ahí la importancia de realizar un estudio detallado a la hora de seleccionar los tonos que representarán un sistema [21].

Psicología del color

La psicología del color es un campo de estudio que está dirigido a analizar cómo se perciben y se reacciona ante distintos colores, así como las emociones que suscitan en las personas dichos tonos. El modo en el que los colores inducen a experimentar determinadas sensaciones y a adoptar ciertas actitudes tiene dos tipos de causas: las biológicas y las culturales. El área en la que más se aplica esta psicología es en el marketing [21].

Significado de los colores

En el caso de un sistema digital, dependiendo del tipo de objetivo que se quiera conseguir, deberían ser los colores a utilizar. Cada color posee su propio significado y en [22] se comentan algunos:

- **Azul:** ayuda a mejorar la creatividad, estimula el pensamiento y la innovación, incita la resolución de problemas y transmite paz. Mayormente se relaciona con entidades bancarias.
- **Rojo:** mantiene la mente en estado de alerta, reduce la velocidad, permite recordar detalles y mejora la memoria.
- **Amarillo:** es el color más llamativo, estimula el cerebro, representa el optimismo y transmite energía y alegría. Las empresas lo utilizan para representar su creatividad y energía, aunque no debe usarse en exceso porque puede resultar molesto.

- **Naranja:** activa la capacidad de aprendizaje, ayuda a la actividad mental y la concentración y mejora la creatividad y el análisis. Es un color muy utilizado en los sistemas de entrenamiento o en sistemas estudiantiles.
- **Verde:** generalmente se asocia a la naturaleza, mejora las habilidades de lectura, ayuda a empatizar y fomentar ideas nuevas.

Combinación de colores

Para lograr una buena combinación de colores en un sistema se debe hacer uso de la gama cromática. Esta escala ordena los colores según su valor, saturación o posición. Se divide en cálida y fría (*Figura 1.2*). La gama cálida está integrada por colores que van desde el magenta hasta el amarillo verdoso (son tonos ideales para llamar la atención del usuario, siempre y cuando se usen con moderación). Los colores fríos van desde el púrpura al azul, y son utilizados con frecuencia por empresas que quieren representar seriedad y responsabilidad, pues transmiten calma a los usuarios [22] .

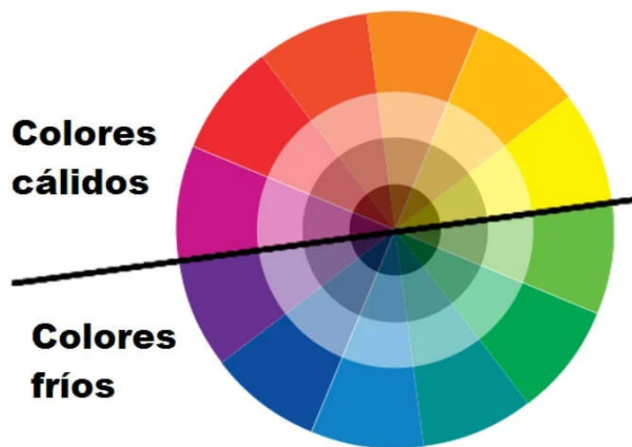


Figura 1.2: Gama cromática de colores (cálidos y fríos)

Una vez definidas las tonalidades se recomienda seguir un patrón de diseño para todo el sistema, basándose en: una gama cromática (diferentes tonos de un mismo color), una gama complementaria (un color combinado con sus complementarios) o una gama opuesta (un color combinado con el color opuesto) [22].

1.2.4. Proceso de validación de las respuestas

En los sistemas de capacitación automatizados pueden emplearse tres métodos diferentes de validación: manual, semiautomático o automático. Por lo general, el más utilizado es el automático, porque facilita el trabajo para aquellos que deben diagnosticar a un personal abundante. Según [23], uno de los métodos más efectivos de evaluar las respuestas en un sistema es mediante el uso de sistemas expertos.

1.3. Sistemas expertos

Los sistemas expertos resuelven problemas que normalmente son solucionados por expertos humanos. Para hacerlo, necesitan acceder a una importante base de conocimiento sobre el dominio, que debe construirse de la manera más eficiente posible. Utilizan uno o más mecanismos de razonamiento, para aplicar este conocimiento a los problemas que se le proponen. Cuentan con un instrumento para explicar a los usuarios que han confiado en ellos, lo que han hecho y cómo [24].

Una forma de contemplar estos sistemas es que simbolizan la mayor parte de la Inteligencia Artificial (IA) aplicada. Un sistema experto en IA se define como un programa informático que tiene la capacidad de representar y razonar sobre el conocimiento [17].

1.3.1. Desventajas de los sistemas expertos

Al ser una tecnología novedosa, los sistemas expertos traen consigo ciertas desventajas. Por presentar algunos ejemplos, en [25] se mencionan:

- Su actualización necesita de reprogramación, siendo una de sus limitaciones más acentuadas
- Son poco flexibles a cambios y de difícil acceso a información no estructurada
- Poseen un elevado costo monetario y de tiempo
- Carecen de sentido común (no hay nada obvio)
- No se puede mantener una conversación informal con ellos
- Es muy complicado que aprendan de sus errores o de errores ajenos
- No son capaces de distinguir cuáles son las cuestiones relevantes de un problema y separarlas de cuestiones secundarias

Sin embargo, estos problemas no solo los presentan los sistemas expertos. La IA aún no ha podido desarrollar sistemas que sean capaces de aplicar el sentido común humano para resolver situaciones complejas. Es por ello que, a pesar de sus desventajas, los sistemas expertos son considerados una gran ayuda y un enorme avance, en especial, en el campo de los sistemas de capacitación [26].

1.3.2. Ventajas de los sistemas expertos

El uso de un sistema experto en cualquier ámbito social resulta favorable de diversas maneras. Según [27], entre sus ventajas más notables se pueden encontrar:

- No sufre de limitaciones y percances humanos, lo que lo convierte en una herramienta estable y fiable para su entorno
- Sus actividades son completamente replicables y siempre contesta de la misma manera a menos que se le cambie el diseño
- La velocidad de procesamiento es mayor a la de un ser humano
- Pueden almacenar su conocimiento para cuando sea necesario aplicarlo
- Pueden ser utilizados por personas no especializadas para resolver problemas
- Pueden ser usados como sistema de aprendizaje
- Al evaluar el costo total del empleo de esta tecnología, la replicabilidad y estabilidad, asociado a la seguridad que provee, resulta una ecuación favorable, aún considerando que las inversiones iniciales pueden ser relativamente elevadas

A modo de conclusión, dependiendo del ámbito y los objetivos que se persigan, por lo general, el uso de esta tecnología representa un avance más que una desventaja.

1.3.3. Componentes de un sistema experto

En [28] se detallan los diferentes componentes que integran un sistema experto. Aunque pueden contar con un número mayor, los mínimos requeridos son (*Figura 1.3*):

- **Motor de inferencia:** es el corazón del sistema experto. Su cometido principal es sacar conclusiones aplicando el conocimiento a los datos. Estas conclusiones pueden estar basadas en conocimiento determinista o probabilístico.
- **Base de conocimiento:** consiste en un conjunto de objetos y un conjunto de reglas que gobiernan las relaciones entre ellos. La información que almacena es de naturaleza permanente y estática, es decir, no cambia de una aplicación a otra. Se debe diferenciar entre los datos y el conocimiento. Con conocimiento se refiere: a las afirmaciones de validez general, tales como reglas, distribuciones de probabilidad, entre otras. Con datos se refiere: a la información que se tiene de una aplicación en particular.
- **Mecanismo de aprendizaje:** controla el flujo de información que va del experto humano a la base de conocimiento. El sistema determina qué nueva información se necesita, o si los datos son reales, es decir, si debe incluirse nuevo conocimiento, y en caso necesario incorporarlo.

- **Interfaz de usuario:** es la interfaz entre el sistema experto y el usuario. Para que sea efectiva debe incorporar mecanismos para mostrar y obtener información de forma sencilla y agradable.

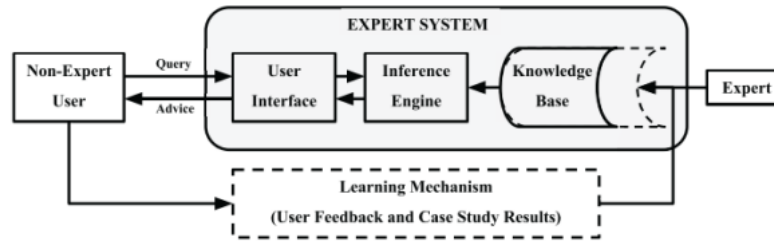


Figura 1.3: Componentes de un sistema experto

1.4. Sistema Generador de Bases de Conocimiento

En octubre del 2017, el Instituto de Investigaciones de la Industria Alimentaria (IIIA), en conjunto con las facultades de Ingeniería Química e Ingeniería Informática de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), desarrolló un Sistema Gestor de Bases de Conocimiento (SGBC). La función principal de este sistema es generar bases de información a partir de los datos introducidos por un usuario determinado. Dichas bases son exportadas en dos tipos especiales de ficheros: *anm* y *drl*. Cada uno de estos ficheros contienen información sobre un proceso productivo determinado [6].

1.4.1. Funcionamiento del generador

El generador tiene como objetivo crear bases de conocimiento sobre procesos productivos industriales. Utiliza reglas de producción como formalismo de representación del conocimiento, las cuales se generan según el formato definido por el motor de inferencia *Drools*.

En el SGBC todos los datos son introducidos por un usuario, que puede crear o cargar un proceso productivo de cualquier rama de la Industria Alimentaria. Por cada proceso se deben incluir las diferentes variables que en este influyen e ir clasificándolas en tres tipos: discretas, válvulas o continuas. En el caso de ser continuas se les deben agregar sus valores máximos y mínimos. Una vez introducidas todas las variables, se empiezan a insertar las causas que influyen sobre las mismas y, luego, las recomendaciones para cada una de ellas, aunque el orden de los datos no afecta el resultado. Solo al concluir, se podrán emparejar cada variable con sus causas y, cada causa, con sus

recomendaciones. Se debe tener en cuenta que una variable puede vincularse a varias causas y que una causa puede necesitar varias recomendaciones. Al emparejar una variable con su causa se debe indicar el estado en el que se encuentra: si es discreta puede ser positivo o negativo; si es válvula puede ser abierto, normal o cerrado y si es continua puede ser alto, normal o bajo. Una vez concluida la entrada de los datos, la información se exporta en los ficheros *anm* y *drl* [7].

1.4.2. Información de los ficheros anm

Un archivo *anm* puede ser utilizado por diferentes tipos de programas distribuidos, para múltiples plataformas como Linux, Mac o Windows. En este caso, estos ficheros contienen toda la información referente a las variables, causas y recomendaciones de un proceso productivo. Comienzan con los nombres de las variables y su clasificación. Si la variable es de tipo continua, poseen sus valores máximos y mínimos. Cada información de las variables está separada por comas, y cada variable está dividida por renglones. Al finalizar, aparece un indicador (*causa) que representa el inicio de un nuevo bloque de información: las causas. Las causas solo poseen su nombre y están separadas por renglones. Finalizando ese bloque, aparece otro indicador (*recomendaciones) para representar el inicio del último bloque de información: las recomendaciones. De las recomendaciones solo se tiene el nombre y cada una está separada por renglones. Con el último indicador (-1), se da a entender que se finalizó la información del fichero [7].

1.4.3. Información de los ficheros drl

Un archivo *drl* es donde el motor de inferencia *Drools* (Sistema de Gestión de Reglas de Negocio en español) almacena sus reglas (*Figura 1.4*). La estructura de una regla dentro de este archivo sigue un patrón determinado, donde **name** es el nombre de la regla, **attribute** son los posibles atributos que puede tener, **conditional element** es la sentencia condicional a evaluar y, si se cumple esta sentencia, se realizan una o varias acciones en **action**. En este caso, lo que se almacenan son las reglas entre variables y causas y entre causas y recomendaciones [7].

```
1 rule "<name>"
2     <attribute>*
3     when
4         <conditional element>*
5     then
6         <action>*
7     end
```

Figura 1.4: Estructura del fichero *drl* (reglas)

1.5. Sistema de entrenamiento SECPROIT

En el año 2018 se creó el Sistema Experto para el Control de Procesos Químicos (SECPROIT), diseñado para capacitar a los operarios de la Industria Alimentaria Cubana sobre los diferentes procesos productivos que en ella se realizan. Este sistema fue desarrollado en la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), entre las facultades de Ingeniería Química e Ingeniería Informática. Su objetivo principal era lograr capacitar a los operarios de la industria y, para ello, realizar un conjunto de entrenamientos evaluados por un sistema experto [8].

1.5.1. Funcionamiento del SECPROIT

El sistema está diseñado para capacitar a los trabajadores de las fábricas a partir de entrenamientos relacionados a los procesos productivos que en ellas se realizan, mediante el uso de un sistema experto. En el sistema, existen tres roles fundamentales:

- Administrador: se encarga del control de los datos del sistema
- Especialista: es el responsable de insertar las bases de conocimiento y supervisa los resultados obtenidos por los trabajadores de su área laboral
- Operario: realiza los entrenamientos

Cada usuario posee un nombre, una contraseña y un rol, y con cada rol aparecen funcionalidades únicas y específicas. En el caso de los especialistas, para insertar una base de conocimiento deben asociarla a un proceso, y de cada proceso deben registrar el nombre, una imagen (si la posee), un fichero tipo *anm* y un archivo *drl*. El operario entrará a realizar aquellos entrenamientos que el especialista haya validado [6].

Una vez comenzada la prueba, el usuario deberá señalar de un grupo de variables las que por su estado estén en peligro de inestabilidad. Si ha seleccionado correctamente pasa a la siguiente etapa, donde debe escoger qué causa el estado de las variables que prefirió. Por último, deberá seleccionar qué recomendaciones seguir para cada causa señalada [8].

El SECPROIT posee un grupo de reportes que facilita la toma de decisiones a partir de los resultados alcanzados. El especialista puede contar con una lista de resultados de cada operario de su área y, de esta forma, se garantiza la selección de los mejores trabajadores a partir de la organización brindada por la lista. También se puede encontrar un listado de los cambios realizados en el sistema, junto con la fecha y el nombre del usuario que los realizó. Este último reporte colabora con la seguridad.

1.5.2. Limitaciones actuales del sistema

Actualmente el sistema SECPROIT posee ciertas limitaciones que impiden que sea implementado en las industrias:

1. Cada vez que se desea utilizar la información que se obtiene del SGBC, es extraída directamente de los ficheros, lo que genera una demora extra en el sistema
2. Solo existe un modelo de pregunta, por lo que resulta redundante el método de evaluación
3. El tiempo demorado en responder el entrenamiento no influye en la nota final del mismo
4. La etapa de las causas presenta problemas en la evaluación
5. La etapa de las recomendaciones nunca se llega a evaluar
6. Las etapas aparecen de forma continúa, sin oportunidad de una pausa
7. Aparecen todas las etapas en una misma vista, si se suspende una, se muestran etapas innecesariamente
8. El resultado de las evaluaciones no se muestra de forma numérica, lo que impide conocer con exactitud el progreso del usuario
9. Por cada proceso existe un único entrenamiento
10. A pesar de ser una aplicación de escritorio, no existe icono del sistema, es decir, no se puede minimizar
11. Presenta una interfaz gráfica poco vistosas y de colores muy oscuros que generan desagrado en los usuarios

1.6. Conclusiones parciales

Al concluir el capítulo se puede arribar a las siguientes conclusiones:

- La capacitación constante de los trabajadores de una empresa ayuda al rendimiento de la misma y evita errores futuros
- Los sistemas de capacitación automatizados permiten el entrenamiento del personal laboral sin la necesidad de un supervisor, lo que ahorra tiempo y recursos humanos a la empresa

- En un sistema de capacitación automatizado se pueden medir tantos parámetros de aprendizaje como herramientas se tenga
- Los criterios de evaluación de un entrenamiento varían según los parámetros y requisitos de la empresa
- En los sistemas digitales, el color naranja aumenta la concentración y el nivel de aprendizaje, por lo que este color es muy utilizado en los sistemas de entrenamiento y en sistemas estudiantiles
- Los sistemas expertos facilitan el proceso de evaluación de los sistemas de entrenamiento digitales
- El SGBC genera las bases de conocimiento del sistema SECPROIT y puede ser utilizado para cualquier tipo de proceso productivo dentro de la Industria Alimentaria Cubana
- El sistema SECPROIT posee un conjunto de limitaciones que impiden su completo funcionamiento

Recomendaciones

A pesar de que se lograron cumplir los objetivos de esta investigación, aún existen algunas funciones que se pueden incorporar. Como recomendaciones se propone:

- Permitir la modificación de los niveles escolares para que el usuario pueda incluir nuevos niveles
- Desarrollar una nueva sección para gestionar los errores del sistema, donde el usuario pueda decidir que información se mostrará en cada mensaje de error
- Añadir una conexión manual del sistema con su base de datos, donde se especifiquen los parámetros de conexión de la misma y de esta manera, no tendría que realizarse con parámetros específicos
- Desarrollar una función que permita exportar los reportes
- Crear un nuevo tipo de reporte que, a partir de la información que se tenga, genere gráficas para una mejor comprensión
- Si se aprueba una etapa con intentos restantes, permitir que el usuario realice esos intentos aunque ya esté aprobado

Referencias bibliográficas

- [1] F. R. Casamitjana, “Tendencias tecnológicas para el sector industrial en el 2022.” España, Sept. 2021.
- [2] S. Rani, A. Kataria, and M. Chauhan, *Fog Computing in Industry 4.0: Applications and Challenges*, vol. 1 of 2, resreport A Research Roadmap, pp. 173–190. Singapore: Springer Singapore, 4 ed., Sept. 2022.
- [3] L. Yong, “Informe de desarrollo industrial 2022,” techreport 450, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), Austria, Nov. 2021.
- [4] J. L. del Val Román, “Industria 4.0: la transformación digital de la industria,” in *Valencia: Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática, Informes CODDII* (CODDII, ed.), vol. 3 of 1, (Valencia, España), p. 9, Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática, CODDII, Oct. 2016.
- [5] M. P. G. Salas and K. R. V. León, *Los procesos de producción en las industrias alimenticias del sector norte de la ciudad de Guayaquil y su incidencia en los costos de producción*. resreport, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Mar. 2018.
- [6] G. C. Lemus, R. S. Llanes, and A. M. R. Riverón, “Sistema para gestionar bases de conocimiento en la industria alimentaria,” *Revista Cubana de Ingeniería*, vol. IX, pp. 60–68, May 2018.
- [7] A. M. R. Riverón, R. S. Llanes, and G. C. Lemus, *Sistema para gestionar bases de conocimiento en la Industria Alimentaria*. software, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba, Oct. 2017.
- [8] E. A. Gil and R. S. Llanes, *Sistema para el entrenamiento de operarios en procesos tecnológicos en la Industria Alimentaria*. software, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba, June 2018.
- [9] P. Przemysław, “Selected methods of cost estimation of erp systems. modifications,” *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, vol. 16, p. 179, May 2013.

- [10] S. Denby, “The importance of training needs analysis,” *Industrial and commercial training*, vol. 42, pp. 147–150, Apr. 2010.
- [11] E. E. G. Páez, “¿cómo crear un buen plan de capacitación laboral?,” *Bizneo Blog*, vol. 2, pp. 50–62, Aug. 2022.
- [12] R. E. M. R., G. R. J., and K. H. C., *Sistema de capacitación asistido por computadora, accesible vía Internet*, vol. 26 of 42. México: Aplicaciones tecnológicas, iii ed., May 2002.
- [13] R. L. Jacobs and M. J. BuRahmah, “Developing employee expertise through structured onthejob training (sojt): an introduction to this training approach and the knpc experience,” *Industrial and Commercial Training*, vol. 44, pp. 75–84, Mar. 2012.
- [14] E. G. Aretio, “Etapas de la evaluación de calidad de los aprendizajes,” *Contextos universitarios mediados*, vol. 8, p. 5, May 2020.
- [15] S. M. Machado, “Diccionario de la real academia española.” Ministerio de Ciencia e Innovación, Dec. 2022.
- [16] E. G. Castrillón, *Criterios de evaluación*. Universidad Técnica de España, Madrid, España, universidad técnica de españa ed., Dec. 2021.
- [17] F. Rasheed and A. Wahid, “Learning style detection in e-learning systems using machine learning techniques,” *Expert Systems with Applications*, vol. 174, pp. 114–774, Apr. 2021.
- [18] ISEM, “Entrenamiento basado en computador para operadores y mantenedores de planta.” 6 enero 2014, June 2022. Instituto de Seguridad Minera (ISEM).
- [19] D. Kanev, “System recommendations for assessment of action onthe example of designer cad,” *Interactive Systems: Problems of Human-Computer Interaction Collection of scientific papers*, vol. 7, pp. 185–189, May 2017.
- [20] E. V. Laguna, “Metodología estándar para el entrenamiento básico de un panel de catadores,” candthesis 24, Universidad: Rey Juan Carlos, Móstoles, Madrid, España, July 2016.
- [21] C. Paspuezán and J. Mishell, *Aplicación de las tendencias de color según pantone 2021 para el lenguaje visual*. candthesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, Mar. 2022.

- [22] P. Terrón-López, “El uso del color en la interfaz gráfica de los videojuegos,” *mathe-sis*, UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LA RIOJA, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, La Rioja, España, Feb. 2022.
- [23] A. J. L and C. M. J, *Expert systems: concepts and examples*, vol. 62 of 2. New York, United States: John Wiley and Sons Inc., New York, NY, v ed., Jan. 1984. 99 GENERAL AND MISCELLANEOUS//MATHEMATICS, COMPUTING, AND INFORMATION SCIENCE; EXPERT SYSTEMS; REVIEWS; ARTIFICIAL INTELLIGENCE; C CODES; COMPUTER CALCULATIONS; COMPUTER CODES; DATA PROCESSING; I CODES; M CODES; P CODES; R CODES; DOCUMENT TYPES; PROCESSING; 990200.
- [24] L. Von Rueden, S. Mayer, K. Beckh, B. Georgiev, S. Giesselbach, R. Heese, B. Kirsch, J. Pfrommer, A. Pick, R. Ramamurthy, *et al.*, “Informed machine learning—a taxonomy and survey of integrating knowledge into learning systems,” *arXiv preprint arXiv:1903.12394*, vol. 4, p. 10, May 2021.
- [25] N. S. Kandula and J. Sidiq, “Analysis of student academic performance through expert systems,” *International Research Journal on Advanced Science Hub*, vol. 2, pp. 48–54, Apr. 2020.
- [26] P. Barham and M. Isard, “Machine learning systems are stuck in a rut,” in *Proceedings of the Workshop on Hot Topics in Operating Systems* (A. Digital, ed.), vol. 24 of 2, (United States), pp. 177–183, ACM Digital Library, ACM Digital Library, May 2022.
- [27] T. Mitchell, B. Buchanan, G. DeJong, T. Dietterich, P. Rosenbloom, and A. Waibel, “Machine learning,” *Annual review of computer science*, vol. 4, pp. 417–433, May 1990.
- [28] E. O. Omuya, G. O. Okeyo, and M. W. Kimwele, “Feature selection for classification using principal component analysis and information gain,” *Expert Systems with Applications*, vol. 5, p. 174, Apr. 2021.
- [29] H. Herchi and W. B. Abdessalem, “From user requirements to uml class diagram,” *arXiv preprint arXiv*, vol. 2, p. 4, Nov. 2012.
- [30] M. Chisholm, *How to build a business rules engine: Extending application functionality through metadata engineering*, vol. 9 of 42. 500 Sansome Street, San Francisco, United States: Morgan Kaufmann, kristin landon ed., Feb. 2007.
- [31] H.-E. Eriksson and M. Penker, “Business modeling with uml,” *New York*, vol. 12, p. 12, Mar. 2000.

- [32] D. Dave and V. Anu, “Identifying functional and non-functional software requirements from user app reviews,” in *2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)* (IEEE, ed.), vol. 9 of 12, (Toronto, ON, Canada), pp. 1–6, IEEE, IEEE International IOT, June 2022.
- [33] S. Kalaivani, L. Dong, H. Behrouz, and A. Eberlein, “Ucda: Use case driven development assistant tool for class model generation,” in *Software Engineering and Knowledge Engineering* (IEEE, ed.), vol. 3 of 16, (United States), pp. 324–329, IEEE, 10th Ieee International Enterprise Distributed Object Computing Conference, Proceedings, Dec. 2004.