



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
23 de noviembre de 2022

Agradecimientos

Quiero dedicar el siguiente trabajo a todas aquellas personas que lucharon porque se hiciera realidad, y no hablo solo de la tesis, si no de todos aquellos compañeros que tuve apoyándome desde un inicio para que hoy pudiera estar aquí.

Resumen

La capacitación laboral es un método aplicado por las empresas para que sus trabajadores adquiera nuevos conocimientos profesionales. Actualmente existen un conjunto de sistemas que permiten realizar esta capacitación de forma automática, sin la presencia obligatoria de un superior. De esta forma se ahorran numerosos recursos de gran valor, como el tiempo y el capital humano. En las industrias donde el trabajo es de forma ininterrumpida, contar con estos sistemas representa una ventaja notable en la producción, de ahí la necesidad de incorporarlos como herramientas permanentes. A la hora de 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 constante y su personal cambiante. 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 la capacitación de operarios ante los procesos productivos de la Industria Alimentaria Cubana. En él se aplican un conjunto de entrenamientos donde se evalúan la capacidad de respuesta de los trabajadores ante situaciones críticas y sus conocimientos sobre los procesos. Los resultados se evalúan mediante el uso de sistemas expertos. 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. Proceso de validación de las respuestas	8
1.2. Sistemas de capacitación automatizados	8
1.2.1. Tipos de preguntas en un sistema de capacitación automatizado	8
1.2.2. Colores utilizados en un sistema digital	9
1.2.3. Ventajas en un sistema de capacitación automatizado	11
1.2.4. Proceso de validación de las respuestas	11
1.3. Sistemas expertos	11
1.3.1. Componentes de un sistema experto	12
1.3.2. Desventajas de los sistemas expertos	12
1.3.3. Ventajas de los sistemas expertos	13
1.4. Generador de Bases de Conocimiento	14
1.4.1. Funcionamiento del generador	14
1.4.2. Información de los ficheros anm	14
1.4.3. Información de los ficheros drl	15
1.5. Sistema de entrenamiento SECPROIT	15
1.5.1. Funcionamiento del SECPROIT	16
1.5.2. Limitaciones actuales del sistema	16
1.6. Conclusiones parciales	17
Capítulo 2: Desarrollo del nuevo sistema	18
2.1. Descripción del negocio	18
2.1.1. Modelo de dominio	18
2.1.2. Reglas del negocio	21

Capítulo 3: Validación de la solución	22
Conclusiones	23
Recomendaciones	24
Referencias bibliográficas	25
Anexos	27

Índice de tablas

2.1. Modelo de dominio: entidades que no sufrieron cambios	20
2.2. Modelo de dominio: entidades que sufrieron cambios	20
2.3. Modelo de dominio: entidades nuevas	21

Índice de figuras

1.1.	Fases en un proceso de evaluación	7
1.2.	Gama cromática de colores (cálidos y fríos)	10
1.3.	Componentes de un sistema experto	12
1.4.	Estructura del fichero <i>drl</i> (reglas)	15
2.5.	Modelo de dominio	19

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, empleos y hogares, gracias a los avances tecnológicos [1]. Tanto así que es cada vez más común escuchar hablar 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 el trabajo manual [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 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].

Cuando se habla de las industrias de un país, no se pueden dejar de mencionar las industrias alimentarias. Estas, son el sector de la economía que se ocupa de todos aquellos procesos relacionados con la alimentación de las personas. Están encaminadas a satisfacer la necesidad más básica de la población, sin la cual no podríamos sobrevivir: la nutrición. Mundialmente, poseen como características la gran variedad de materias primas que emplean, el número elevado de procesos que manejan 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 la industria alimentaria, estas afectaciones pueden verse reflejadas en grandes daños económicos ya que, en la mayoría de los casos, este tipo de industrias trabajan con materias primas que no pueden ser reutilizadas. Pero estas no son las únicas afectaciones que se pueden reflejar. En los procesos productivos de estas industrias, 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 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].

A partir de esta problemática, 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 toda 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]. En el segundo, se utilizan las bases creadas por el generador para producir entrenamientos y capacitar a los operarios de la fábrica [8]. Con estos sistemas, los trabajadores se entrenarían sobre los procesos que maniobran y se reducirían los riesgos de errores por desconocimiento.

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

- Cada vez que se desea utilizar la información obtenida por el generador es extraída directamente desde sus ficheros, lo que genera una demora extra en el sistema
- Solo existe un modo de pregunta, por lo que resulta redundante el método de evaluación
- El tiempo utilizado en responder el entrenamiento no influye en la nota final del mismo
- La etapa de las recomendaciones no se evalúa correctamente, ni muestra los puntos recibidos
- Cada etapa se evalúa de manera continua sin oportunidad de una pausa.
- Si se suspende una etapa el entrenamiento continúa hasta el final, por lo que aparecen etapas innecesariamente
- Por cada proceso existe un único entrenamiento.

- Presenta una interfaz gráfica poco vistosas y de colores muy oscuros que generan desagrado en los usuarios

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?

Por lo tanto, 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.*

A partir de estas restricciones se intuyen un número de cambios que son necesarios llevar a cabo. Estas modificaciones deben realizarse tanto en la lógica, como en la base de datos, en las interfaces de usuario y en la estructura del sistema. Es decir, son requeridas algunas transformaciones que abarcan todas las capas del SECPROIT. Según [9], modificar un código ajeno ya escrito, para adaptarlo a una nueva estructura y a una nueva base de datos, resulta más complejo que elaborar uno código de cero. Por lo tanto, con el fin de rectificar las limitaciones actuales y generar una actualización del SECPROIT, resulta más factible comenzar una nueva programación, es decir, un nuevo software, pero sin dejar de lado el modelo del sistema ya existente.

Partiendo de esta teoría, se definen los siguientes objetivos específicos y sus tareas correspondientes:

1. Asimilar los fundamentos teóricos y analizar nuevos aspectos que puedan ser incorporados
 - Extraer los requisitos funcionales y no funcionales que debe cumplir el nuevo sistema
 - 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. Programar el nuevo sistema
 - Diseñar diagramas auxiliares y modelados UML
 - Implementar la base de datos
 - Desarrollar funcionalidades que permitan la administración del sistema
 - Incorporar la configuración de un entrenamiento asociado a un proceso
 - Implementar la generación de preguntas por 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 la herramienta desarrollada
- Diseñar las pruebas funcionales
 - Ejecutar las pruebas y/o experimentos
 - Documentar los resultados obtenidos
4. Desplegar la aplicación en la facultad de Ingeniería Química
- Redactar la documentación del sistema
 - Diseñar un manual de instalación y un manual de usuario
 - Instalar la nueva solución en la facultad de Ingeniería Química

Esta investigación posee como objeto de estudio: 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).

El aporte de este proyecto está dado tanto en el marco teórico como en el práctico. Para el primero, se construye un sistema de entrenamiento capaz de ejercitar sobre cualquier información que se brinde en sus bases de conocimiento. En la práctica, queda 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 de la solución de esta problemática, utilizando diferentes artefactos UML, describiendo los requisitos del sistema 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 de la herramienta a desarrollar. Comprende un análisis de los sistemas de capacitación y los sistemas de capacitación 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), se profundiza el trabajo con el sistema SECPROIT y se incluyen 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 responder [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.

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 estas posibilidades de registrar 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. Sirve 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, que ha de llegar a diferentes destinatarios, aunque principalmente y de forma adecuada, a los capacitados. Es la confirmación de que concluye el entrenamiento y donde se dan a conocer los resultados obtenidos.

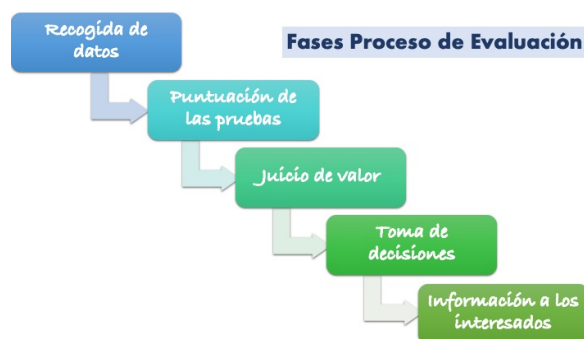


Figura 1.1: Fases en un proceso de evaluación

1.1.4. 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 [15].

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 [16].

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. Tipos de preguntas en un sistema de capacitación automatizado

A medida que avanza el tiempo se generan nuevos métodos de estudio y con estos, nuevas formas de preguntar y calificar. Sin embargo, a la hora de diseñar un sistema automatizado, no es menos cierto que existen algunas variantes más sencillas y, por ende, más utilizadas. Según [17], los tipos de preguntas que mayormente se emplean en un sistema de capacitación automatizado 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, por 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.

1.2.2. 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 [18].

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 [18].

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 [19] 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 es la escala que 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. Estos tonos son ideales para llamar la atención del usuario, siempre y cuando se usen con moderación. Los colores fríos van del azul al púrpura, y son utilizados con frecuencia por empresas que quieren representar seriedad y responsabilidad, pues transmiten calma a los usuarios [19] .

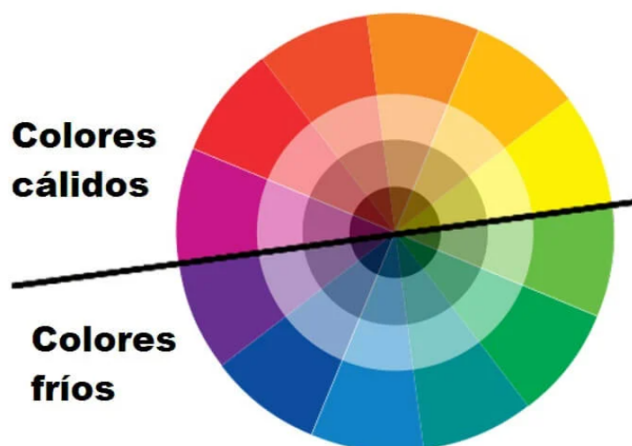


Figura 1.2: Gama cromática de colores (cálidos y fríos)

Una vez definidas las tonalidades a utilizar 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) [19].

1.2.3. Ventajas en un sistema de capacitación automatizado

Un sistema de entrenamiento asistido por computadora (sistema de capacitación automatizado), 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 los capacitados. 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 un sistema automatizado, no es necesario desempeñar esta tarea, el propio software se encarga de la supervisión y evaluación del operario [20].

1.2.4. Proceso de validación de las respuestas

En los sistemas de capacitación automatizados pueden utilizarse tres métodos diferentes de validación: manual, semiautomático o automático. Por lo general, el más empleado es el automático, ya que de esta forma se facilita el trabajo para aquellos que deben evaluar a un personal abundante. Según [21], la manera más efectiva y eficiente de evaluar las respuestas en este tipo de sistemas 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 [22].

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 [15].

1.3.1. Componentes de un sistema experto

En [23] 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 esos objetos. 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. El conocimiento se refiere a afirmaciones de validez general tales como reglas, distribuciones de probabilidad, entre otras. Los datos se refieren a información relacionada con una aplicación en particular.
- **Mecanismo de aprendizaje:** controla el flujo del nuevo conocimiento 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 el 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.

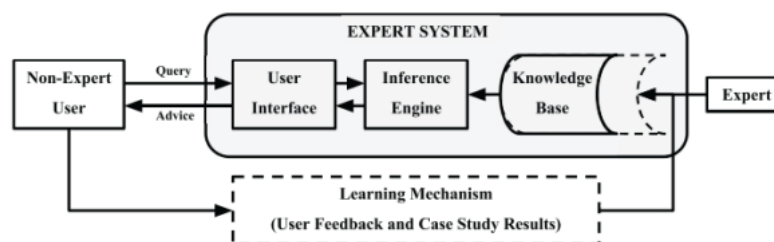


Figura 1.3: Componentes de un sistema experto

1.3.2. Desventajas de los sistemas expertos

Al ser una tecnología novedosa, los sistemas expertos traen consigo ciertas desventajas. Por presentar algunos ejemplos, en [24] 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 en dinero y 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 Inteligencia Artificial aún no ha podido desarrollar sistemas que sean capaces de resolver problemas de manera general o de aplicar el sentido común 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 [25].

1.3.3. Ventajas de los sistemas expertos

A pesar de sus desventajas, el uso de un sistema experto en cualquier ámbito social resulta favorable de diversas maneras. Según [26], entre sus ventajas más importantes 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 resulta una ayuda más que una desventaja.

1.4. 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 ir incluyendo 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 en todo el proceso y luego las recomendaciones para cada una de las causas, aunque el orden de los datos no afecta el resultado. Solo al concluir, se podrán emparejar las variables con las causas y las causas con las recomendaciones. Se debe tener en cuenta que una variable puede tener varias causas y que una causa puede tener varias recomendaciones. Al emparejar una variable con su causa se debe indicar el estado de la misma: 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 datos del proceso, se exportan 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. Los datos de 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 comenzar a leer las causas, aparece un indicador (*causa). Las causas solo poseen su nombre y están separadas por renglones. Por último, al comenzar a leer las recomendaciones aparece un indicador (*recomendaciones) de la misma manera que en las causas. De las recomendaciones solo se tiene el nombre y cada una está separada por renglones. Al final de los archivos *anm* aparece un -1 para indicar que se acabó la lectura [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) almacena sus reglas (*Figura 1.4*). La estructura de una regla dentro de este archivo sigue un patrón donde **name** es el nombre de la regla, **attribute** son los posibles atributos que puede tener la misma, **conditional element** es la sentencia condicional a evaluar por la regla y, si se cumple esta sentencia, se pasa a realizar 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), sistema 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 es lograr capacitar a los operarios de la industria y, para ello, realiza 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* [6].

El operario entrará a realizar aquellos entrenamientos que el especialista haya validado. Una vez comenzada la prueba, 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 que señaló [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 lo realizó.

1.5.2. Limitaciones actuales del sistema

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

- Cada vez que se desea utilizar la información obtenida por el generador es extraída directamente desde sus ficheros, lo que genera una demora extra en el sistema
- Solo existe un modo de pregunta, por lo que resulta redundante el método de evaluación
- El tiempo utilizado en responder el entrenamiento no influye en la nota final del mismo

- La etapa de las recomendaciones no se evalúa correctamente, ni muestra los puntos recibidos
- Cada etapa se evalúa de manera continúa sin oportunidad de una pausa.
- Si se suspende una etapa el entrenamiento continúa hasta el final, por lo que aparecen etapas innecesariamente
- Por cada proceso existe un único entrenamiento.
- 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 automatizados se pueden medir tantos parámetros de aprendizaje como herramientas se tenga
- 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

Capítulo 2

Desarrollo del nuevo sistema

En el siguiente capítulo se presenta la propuesta de solución para la problemática planteada: el nuevo sistema SECPROIT. Para que el desarrollo de un proyecto concluya con éxitos, primero debe realizarse el diseño de lo que se pretende obtener, así como analizar los requisitos que debe cumplir. A lo largo de este capítulo se presentarán los diagramas utilizados en la elaboración del sistema, se explicará como está estructurado y cuáles son sus funciones. Cabe destacar que este nuevo diseño parte del que se tenía anteriormente en el SECPROIT, por lo que se realizarán algunas comparaciones dicho modelo.

2.1. Descripción del negocio

Como ya se ha observado en secciones anteriores, lo que se pretende conseguir con este nuevo sistema es rectificar las limitaciones existentes en el SECPROIT actual. Para ello, el nuevo software debe satisfacer el objetivo principal: capacitar a los operarios ante los procesos productivos de una fábrica. Partiendo de esa idea, esta solución debe poseer un modelo de entrenamiento que ponga a prueba a los operarios de la industria, además, debe contar con un administrador que sea el responsable de incluir a los todos usuarios.

A la hora de realizar el entrenamiento, se deben evaluar tres etapas fundamentales: una para validar los conocimientos sobre las variables, otra para comprobar las causas por las que la variable representa un peligro y la última donde se analicen las recomendaciones que se pueden seguir en caso de que ocurra una falla provocada por esa causa. Si el trabajador logra superar estas etapas, puede darse por aprobado el entrenamiento de ese proceso.

2.1.1. Modelo de dominio

Un modelo de dominio es la representación de las clases conceptuales del mundo real, no de componentes de software. Su utilidad radica en ser una forma de inspiración

para el diseño de entidades. Es el artefacto clave en el análisis orientado a objetos [27].

El modelo de dominio de este sistema (*Figura 2.5*) no es muy diferente al modelo origina del sistema SECPROIT. A la hora de representarlo, se tuvieron en cuenta una serie de colores a modo de guía:

- **Azul:** representa aquellas entidades que no sufrieron ningún cambio significativo con respecto al sistema anterior
- **Amarillo:** representa aquellas entidades que fueron modificadas, pero que siguen cumpliendo las mismas funciones
- **Verde:** representa las entidades que son totalmente nuevas, que no existen el sistema anterior

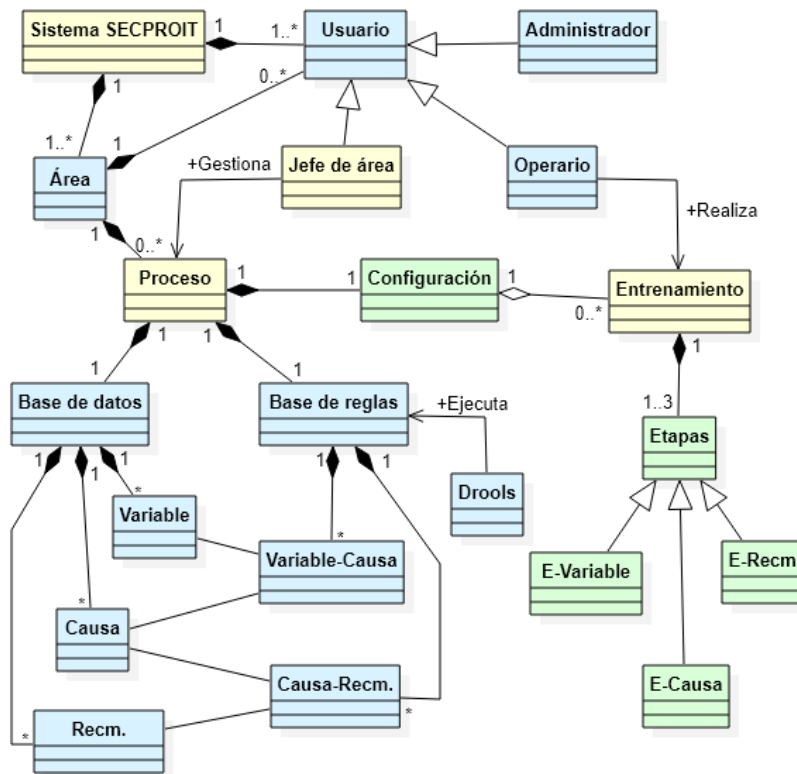


Figura 2.5: Modelo de dominio

La razón por la que algunas entidades (*Tabla 2.1*) no sufrieron cambios es porque, basados en las tareas que desempeñan, no varían sus funciones con este nuevo modelo. Sin embargo, más adelante pueden presentar modificaciones en algunos aspectos. Las entidades que cambiaron (*Tabla 2.2*), indican que también se realizaron arreglos en la estructura que estas seguían, es decir, variaciones en la base de datos y en las clases del sistema. Por último, las entidades nuevas (*Tabla 2.3*) son clases que fueron agregadas desde cero para rectificar alguna limitación.

Entidad	Descripción
Área	Representa el lugar donde laboran los trabajadores, posee un identificador y es donde están presentes los procesos
Usuario	Representa a la persona que va interactuar con el sistema
Administrador	Es un tipo de usuario, se encarga de administrar las entidades del sistema (áreas y demás usuarios)
Operario	Es un tipo de usuario, se encarga de realizar los entrenamientos
Base de datos	Representa el archivo anm
Base de reglas	Representa el archivo drl
Drools	Es la entidad que permite ejecutar las reglas del proceso
Variable	Forma parte de la información contenida en la base de datos del proceso, se evalúan en la primera etapa
Causa	Forma parte de la información contenida en la base de datos del proceso, se evalúan en la segunda etapa
Recm.	Forma parte de la información contenida en la base de datos del proceso, representa las recomendaciones y se evalúan en la tercera etapa
Variable-Causa	Forma parte de la información contenida en la base de reglas del proceso, se evalúan en la primera etapa
Causa-Recm.	Forma parte de la información contenida en la base de reglas del proceso, se evalúan en la primera etapa

Tabla 2.1: Modelo de dominio: entidades que no sufrieron cambios

Entidad	Descripción	Cambios
Sistema SECPROIT	Representa el sistema	Cambian sus entidades y funciones
Jefe e área	Es un tipo de usuario, administrar los procesos	Antes era especialista y solo creaba los procesos
Proceso	Representa los procesos	Se le agrega un nuevo atributo: la configuración
Entrenamiento	Representa el entrenamiento del usuario	Se le agregan las etapas

Tabla 2.2: Modelo de dominio: entidades que sufrieron cambios

Entidad	Descripción
Configuración	Representa la configuración de un proceso, es decir, las características que este posee para generar un entrenamiento
Etapas	Representa las etapas del entrenamiento, existen tres por cada uno
E-Variable	Es un tipo de etapa, donde se evalúan las variables
E-Causa	Es un tipo de etapa, donde se evalúan las causas
E-Recm.	Es un tipo de etapa, donde se evalúan las recomendaciones

Tabla 2.3: Modelo de dominio: entidades nuevas

2.1.2. Reglas del negocio

Capítulo 3

Validación de la solución

Conclusiones

Recomendaciones

A pesar de que se lograron cumplir los objetivos de esta investigación, aún existen algunas funciones que se pueden incorporar. Algunas de estas nuevas funcionalidades son propuestas como recomendaciones:

- 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
- Insertar un paginado en las tablas
- Validar la entrada del carnet de identidad por sus 11 dígitos
- Desarrollar una función que permita exportar los reportes
- Insertar un nuevo reporte basado en gráficas

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] 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.
- [16] ISEM, “Entrenamiento basado en computador para operadores y mantenedores de planta.” 6 enero 2014, June 2022. Instituto de Seguridad Minera (ISEM).
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.

- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] H. Herchi and W. B. Abdessalem, “From user requirements to uml class diagram,” *arXiv preprint arXiv*, vol. 2, p. 4, Nov. 2012.