

# FITOSMART: PLATAFORMA TECNOLÓGICA DE FITOMONITORIZACIÓN DE CULTIVO HIDROPÓNICO UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL, ETAPA 3

*Centeno Téllez, Adolfo<sup>1</sup>*

*Olivos Lagunes, Emilia<sup>2</sup>*

*González Hernández, Hugo G.<sup>3</sup>*

*a.centeno@itesm.mx<sup>1</sup>. Tecnológico de Monterrey.*

*emilia.olivos@utcv.edu.mx<sup>2</sup>. Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.*

*hgonz@itesm.mx<sup>3</sup>. Tecnológico de Monterrey*

## ABSTRACT

Traditional agriculture generates lost in soil fertility, this avoids the natural growth in plants and makes necessary the use of mineral fertilizers which generates soil and groundwater pollution. Case Based Reasoning (CBR) is an important technique in artificial intelligence, which has been applied to various kinds of problems in a wide range of domains including agriculture. Selecting case representation formalism is critical for the proper operation of the overall CBR system. In this paper, we present a CBR implementation for the FitoSmart platform, CBR processes including case representation, retrieval, storage, and adaptation. Case representation methods with traditional approaches was used in this project. The results of the experiment in FitoSmart explains current status of CBR system in precision agriculture and future and related work.

**Keywords:** CBR, Artificial Intelligence, Agriculture, IoT, Cloud Computing.

## RESUMEN

La agricultura tradicional provoca pérdida en la fertilidad del suelo, esto evita el crecimiento natural de las plantas y hace necesario el uso de fertilizantes naturales lo que genera contaminación del agua y del ambiente. El Razonamiento Basado en Casos (*Case Base Reasoning - CBR*) es una importante técnica en la Inteligencia Artificial, la cual ha sido aplicado en varios de tipos de problemas y en un rango amplio de dominios incluyendo la agricultura. La selección de una representación formal del Caso es una tarea crítica para la correcta operación de todo el sistema *CBR*. En este artículo, se reporta la implementación de un *CBR* para la plataforma *FitoSmart*, los procesos del *CBR* incluyen representación de Casos, recuperación, almacenamiento y adaptación. Este proyecto utilizó un enfoque de representación de Casos tradicional. Los resultados del experimento explican el estado actual de los sistemas *CBR* en la agricultura de precisión y trabajos relacionados y futuros.

**Palabras clave:** CBR, Inteligencia Artificial, Agricultura, Internet de las cosas, Computo en la nube.

## INTRODUCCIÓN

La plataforma *FitoSmart* aborda el problema de agilizar los procesos de cultivo agrícola (riego, fertilización, iluminación) sin depender de la fertilidad del suelo y clima, mediante la combinación de un sistema de cultivo hidropónico (cultivo en solución acuosa) y el manejo de un invernadero

automatizado a través de monitorización de variables del ambiente (temperatura, humedad, flujo luminoso y concentración de ~~CO<sub>2</sub>~~ Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)) y de la solución del cultivo (oxígeno, potencial de Hidrógeno (pH), concentración iónica), regulación del ambiente y Fitomonitorización (monitorización de la planta: tamaño y color del fruto), mediante el análisis de imágenes de esta. (Al-Aubidy, K., Ali, M., Derbas, A., & ~~y~~ Al-Mutairi, A., 2014)

En esta etapa se reporta el módulo de Aprendizaje del *CBR* en sus fases de revisar y retener. Revisar: evalúa la solución, mediante la ejecución de pruebas en el Fitotrón, con el propósito de determinar si la solución emitida es exitosa, entonces es factible utilizar las soluciones exitosas ya probadas en el Fitotrón y retener (caso y la solución probada). Esto permitirá, evaluar satisfactoriamente cada una de las variables utilizadas en las pruebas realizadas en el *Fitotrón*, y obtener parámetros exitosos para cultivar distintos tipos de plantas, la información del *CBR* servirá para el Módulo de Sistema de Plan de Cultivo, con el propósito de recomendar los parámetros adecuados para un tipo de cultivo en particular.

## METODOLOGÍA

---

### Hipótesis

Un *Fitotrón* es una cámara o conjunto de cámaras en las que se pueden cultivar plantas en condiciones rigurosas y estrictamente controladas. La tercera etapa del proyecto *FitoSmart* plantea la siguiente hipótesis: “Es posible construir un Sistema de Razonamiento basado en casos que ayude al *Fitotrón* a regular las condiciones ambientales de un cultivo hidropónico”.

### Diseño utilizado en el estudio

Los sistemas amplios y complejos en dominios de medicina, física, agronomía entre otros, el conocimiento no puede ser representado por reglas (ejemplo: *IF-THEN*), estos sistemas basados en reglas puras encuentran diversos problemas ya que el conocimiento evoluciona rápidamente y la actualización de las reglas es sumamente costoso, lento y puede causar inconsistencias. El cuello de botella de la adquisición de conocimiento es uno de los problemas más críticos en cualquier sistema basado en conocimiento y representa un alto riesgo de volver frágiles y poco confiables a los sistemas basados en reglas, una falla en una regla puede afectar el desempeño global del sistema. *Case-Based Reasoning (CBR)* es un método prometedor de la Inteligencia artificial basado en recordar experiencias pasadas y usarlas para resolver situaciones actuales que son similares. (Boxiang, X., Chuanyu, W., Xinyu, G., & Sheng, W., 2014)

**Esta sección** reporta los detalles de implementación de un razonador basado en casos para el proyecto *Fitosmart*. **Esta sección** reporta el diseño de la aplicación incluyendo el mecanismo de recuperación de casos, métricas de similitud, mecanismo de adaptación, estructura del código fuente, estructura e interfaces de usuario.

Un ~~razonador~~ Razonador basado ~~Basado~~ en ~~casos~~ Casos es una **técnica** de ~~inteligencia~~ Inteligencia artificial ~~Artificial~~ motivada en la memorización de experiencias pasadas denominadas casos. La técnica de *CBR* es usada para evaluar el proceso de desarrollo de la planta con referencia a casos previamente almacenados que representan estados de la planta en ciertas condiciones y en

determinada etapa de crecimiento. Un *CBR* consiste en cuatro principales fases o etapas, denominadas el ciclo del *CBR*. (Cheng-Jun, Z., 2014)

Una breve descripción de las etapas de un *CBR* son mostrados en la tabla 1

**Tabla 1.- Etapas de un sistema CBR.**

<b>Etapas CBR</b>	<b>Descripción</b>
<i>Retrieve</i>	Recupera el caso más similar o grupo de casos.
<i>Reuse</i>	Reusa la información, conocimiento y solución en el caso para resolver el problema en cuestión si hay un “match” perfecto
<i>Revise</i>	Revisa y adapta el caso más similar o grupo de casos apropiados si un “match perfecto” no es encontrado
<i>Retain</i>	Conserva o guarda la nueva experiencia o caso para futuros procesos de recuperación y soluciones de problemas. Y la base de casos es actualizada almacenando el nuevo caso aprendido.

En un *CBR*, las experiencias son almacenadas en forma de casos para representar conocimiento. En nuestro experimento un caso es un registro de la planta estructurado con etapa de cultivo, ubicación exacta en términos de latitud, longitud y altitud, condiciones de temperatura, luminosidad, ph, electro conductividad y el análisis numérico de imagen de la planta en esa marca de tiempo. Los casos son las bases de cualquier sistema *CBR*, un sistema sin casos no podría ser considerado un *CBR*, la representación de los casos es la decisión más crítica e importante en la construcción de Sistemas *CBR*. La representación de casos en un *CBR* hace uso de formalismos de representación de conocimientos muy conocidos en el campo de la Inteligencia Artificial, representan la experiencia contenida en los casos para propósitos de razonamiento. (Leonard, M. &. ,2014). Las dos principales categorías de representación de casos son: métodos tradicionales y métodos semánticos. La Figura 1 muestra los procesos de un sistema *CBR*.

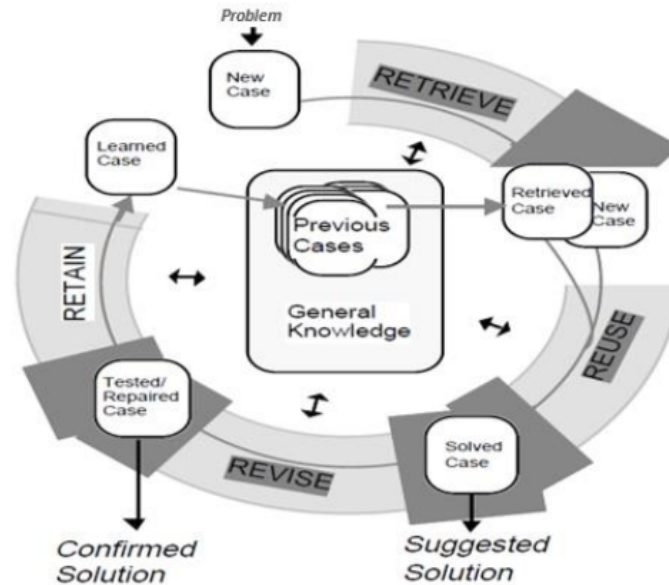


Figura 1.- Procesos de un sistema CBR.

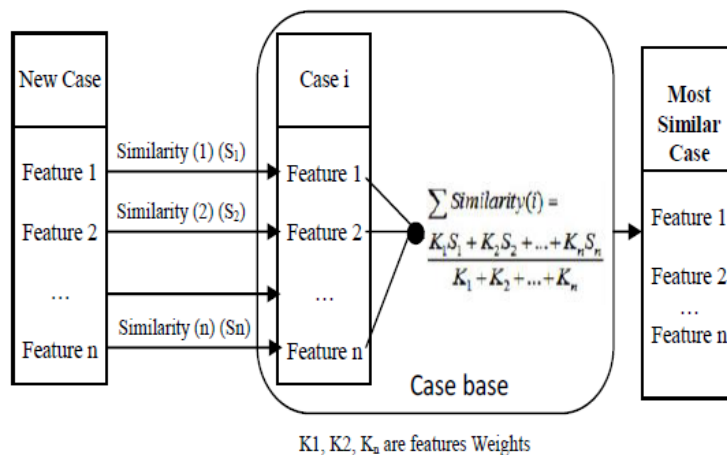
La eficiencia de los algoritmos de recuperación de casos es determinada y afectada directamente por el método de representación de casos usado. En un CBR un caso contiene el conocimiento de un episodio experimentado y el contexto en el cual el conocimiento puede ser aplicado. El problema de representación de casos debe ser considerado desde 2 puntos de vista: el primero, los modelos conceptuales que son usados para diseñar y representar casos, y el segundo la manera de implementar los casos en la computadora.

La representación de casos contiene 3 problemas:

- Definir que atributos describen un caso
- Definir la estructura para describir el contenido de caso
- Organizar los casos en la base de casos

La base de casos puede tomar cualquier formato para almacenar físicamente los casos. La base de casos puede ser, así también ser una base de datos relacional u orientada a objetos, archivos XML o archivos planos separados por algún valor. Los casos deben ser indexados para que la etapa de recuperación de casos pueda usar una estructura para tener acceso a los casos que tenga acceso a cada uno.

Este proyecto usa métodos de representación de casos tradicionales, particularmente representación de características por vector (*Feature Vector Representation*). Esta es la forma más simple de representación de casos, donde cada caso es representando por un conjunto de características describiendo el problema en la forma (valor-atributo) y solución asociada. (Shire, A., Jawarkar, U., & Manmode, M., 2015) La figura 2 muestra el proceso de cálculo de similitud usado en el proyecto.



**Figura 2.- Proceso de cálculo de similitud usando *Feature Vector Representation*.**

Todos los casos tienen el mismo tipo y el mismo número de características. La similitud es sencilla ya que cada característica es comparada con la correspondiente en cada caso. No existen relaciones o restricciones entre características, por otro lado la similitud exacta solo se calcula.

### Sujetos, universo y muestra

Para la investigación de la etapa 2 del proyecto FitoSmart se trabajó en conjunto con investigadores del Departamento de Agricultura Sustentable y Protegida de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV) y de acuerdo a su opinión como expertos en el área, se tomaron en cuenta la recomendación de construir 4 fitotrones con 24 plantas de lechuga cada una, 3 se encuentran en las instalaciones de la UTCV y otro en las instalaciones de la empresa donde se realiza el proyecto.

### Instrumentos de medición aplicados

Los instrumentos utilizados para validar la efectividad de la plataforma fueron:

En *Fitosmart CBR* las métricas y pesos son definidos para cada atributo de la base de casos. Para definir las métricas de similitud, la interpretación de dominio de cada atributo es necesaria de acuerdo a los criterios de la hidroponía. Las métricas de similitud están en el rango de [0; 1], y los pesos en el rango de [1; ∞. La tabla 2 muestra la configuración del Caso con sus atributos y variables de respuesta utilizados en el proyecto.

**Tabla 2.- Configuración de atributos del Caso del proyecto.**

Atributos Normales	Atributos con variables de respuesta
EDAD, SOL, NUTRITIVA, NITROGENO, FOSFORO, POTASIO, CALCIO, MAGNESIO, HIERRO, ZINC, BOR0, MOLIBDENO, COBRE, AZUFRE, LUMINOSIDAD, TEMPERATURA AMBIENTAL,	Peso de la planta, Peso seco, Peso fresco, Análisis folicular de nitratos, potasio, calcio y sodio. Rendimiento

TEMPERATURA DE AGUA, LAT, LNG, ALTITUD,  
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, ANALISIS  
FOLIAR Y PH

## Procedimiento

La metodología aplicada en este proyecto se puede resumir en la siguiente sucesión de pasos ejecutados cronológicamente:

## Recuperación de casos

Esta sección describe la etapa de recuperación de casos del *CBR* en *Fitosmart* en términos generales, la recuperación es realizada usando el algoritmo de búsqueda *KNN* (*k nearest neighbour*), donde la consulta enviada es comparada con cada caso en la base de casos para derivar una similitud con cada caso. Dado que en este experimento la base de casos es relativamente pequeña (1250 casos), el uso de este método de búsqueda de fuerza bruta da como resultado una ejecución de consultas de menos de un segundo, por lo que no es necesario un algoritmo de recuperación más eficiente. La figura 2 muestra la arquitectura usada en la implementación del *FitoSmart CBR*.

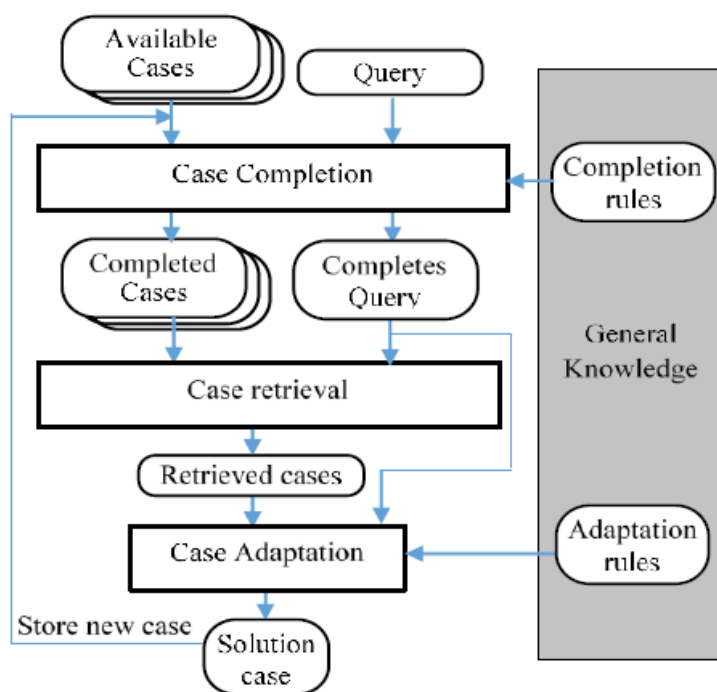


Figura 1.- Diagrama arquitectónico de la Plataforma FitoSmart, etapa 3.

Después de la comparación, los casos son ordenados por similitud en orden descendente y los *k* casos más parecidos son regresados, donde *k* es un atributo configurable y tiene un valor por default en 2. Los casos que tienen la misma calificación en similitud son regresados en orden aleatorio.

Para derivar la similitud total de un caso, cada atributo es comparado a los atributos de la consulta, y la suma de los pesos es calculada para cada caso (con los pesos definidos para cada atributo). El valor normalizado de esa suma de pesos representa la similitud del caso.

Dado que una consulta no requiere todos los atributos de forma obligatoria, solo aquellos incluidos en la consulta son usados para los cálculos de métricas de similitud. Si en la base de datos de casos un caso no contiene un atributo y este atributo está presente en la consulta, la similitud con respecto a este atributo será 0.0

### Adaptación de casos

Los resultados de una consulta pueden ser adaptados para obtener una mejor similitud. Para el proceso de adaptación se asume que existe cierta flexibilidad en las reglas de negocio que impactan sobre la definición de los atributos de los casos de acuerdo al dominio de la hidroponía.

La adaptación trabaja considerando la especificación de la consulta y el mejor caso encontrado en la búsqueda. Para cada uno de los atributos adaptables (ejemplo: temperatura, luminosidad, pH), si están presentes en la consulta y sus valores son diferentes del caso más similar, la distancia de adaptación es calculada con el valor de la consulta dividido entre el valor del mejor caso encontrado.

Si existe más de 1 atributo adaptable presente, la distancia total de adaptación es simplemente el producto de la distancia de adaptación de los atributos individuales.

Basados en la distancia de adaptación, los atributos marcados para ser adaptados en la etapa de adaptación (ejemplo: temperatura) son ajustados y un nuevo caso es construido con los nuevos valores adaptados y ajustados. Este nuevo caso es probado con su similitud contra la consulta, y si es mejor caso que el mejor caso resultado de la consulta, es regresado como un caso adaptado.

El asumir que la temperatura o algún otro atributo puede ser ajustado solo puede ser válido bajo ciertas condiciones, el ajuste de los atributos podría ser no lineal. Alternativamente, se podría emplear una técnica de adaptación más sofisticada. En *FitoSmart CBR* la técnica simple empleada es considerada suficiente para demostrar un posible mecanismo de adaptación, el uso de una técnica de adaptación más compleja podría requerir conocimientos más profundos en el dominio de la hidroponía.

## RESULTADOS

En el presente trabajo se logró realizar pruebas experimentales del Fitotrón en un ciclo completo que va desde la adquisición de imágenes, adquisición de valores de sensores, envío de los datos sin pérdida de información, recepción de la información en la plataforma web, persistencia de imágenes y datos, análisis y ajuste de los parámetros del ambiente para garantizar el crecimiento de la planta.

La aplicación de *CBR* fue desarrollada y probada usando *Python 3.5*, además de las librerías standard la aplicación usa *geopy library* para trabajar los atributos de latitud, longitud y altitud.



Para ejecutar la aplicación en modo consola solamente se ejecuta *python main.py* (en *linux*), en este *release* la aplicación corre como una aplicación de consola con intérpretes de comandos, y usa la librería *readline library* (si [esta](#) está disponible) para proporcionar históricos de líneas de comandos y la característica de auto-completar.

El flujo de trabajo de la aplicación consiste en establecer los parámetros de la consulta usando el comando “*query set*”, posteriormente se ejecutaría la consulta usando “*query run*” que buscara en la base de casos. El comando “*help*” proporciona la lista completa de comandos de la aplicación.

El código está dividido en clases de acuerdo a la funcionalidad requerida, las principales son *Case*, *Matcher* y *Attribute*. *BaseAttribute* es una superclase abstracta que especifica cómo se conforma un Atributo de un Caso. Se definen varias subclases para cada tipo de Similitud (igualdad exacta, menor que, igualdad basada en árboles, etc), y tipos de adaptación (ejemplo adaptación numérica).

La clase *Case* es una clase especializada tipo Diccionario, toma valores y los convierte en atributos de la clase basadas en el nombre. La clase *Case* especifica las métricas de similitud y especifica un método para adaptar un caso a otro.

La clase *Matcher* especifica el método de recuperación y el de adaptación en términos de objetos tipo *Case*. *Matcher* tiene un método *match*, que direcciona las métricas de similitud de la consulta con cada uno de los casos de la base de casos y obtiene los [mas](#) más parecidos.

## DISCUSIÓN

---

Con base en los resultados de la investigación elaborada se puede visualizar el uso de tecnologías y técnicas de Inteligencia Artificial, Visión por Computadora, Cómputo Sensible al Contexto, Razonamiento Basado en Casos. *FitoSmart* y los trabajos relacionados presentan el desarrollo e implementación de métodos, sistemas, *frameworks* o técnicas en la denominada Agricultura de Precisión, con el fin de reducir el impacto ambiental al aplicar insumos (fertilizantes, fitosanitarios, agua) y favorecer las condiciones ambientales según las necesidades del cultivo. Asimismo, contribuir al ahorro de costos, aumento de la calidad y productividad. Las técnicas de Inteligencia Artificial como el Razonamiento basado en casos contribuyen a la detección de enfermedades en la planta y reconocimiento de la maduración de frutos

## CONCLUSIONES

---

Como parte del proyecto global se pretende la automatización completa del invernadero hidropónico en cuanto a la mezcla de nutrientes en la solución de acuerdo a las recomendaciones del sistema *CBR*, la integración de múltiples *fitotrones* compartiendo conocimiento a través de internet, implementación de *Deep learning* en el procesamiento de imágenes para detectar enfermedades en las plantas usando el framework de *Nvidia CUDA* y *cuDnn*.

## REFERENCIAS

---



- Al-Aubidy, K., Ali, M., Derbas, A., & Al-Mutairi, A. (2014). Real-time monitoring and intelligent control for greenhouses based on wireless sensor network. *Multi-Conference on Systems, Signals Devices (SSD), 2014 11th International*, pp. 1-7.
- Boxiang, X., Chuanyu, W., Xinyu, G., & Sheng, W. (2014). Image acquisition system for agricultural context-aware computing. ***International Journal of Agricultural and Biological Engineering***, pp. 75-80.
- Cheng-Jun, Z. (2014).** Research and Implementation of Agricultural Environment Monitoring Based on Internet of Things. *Intelligent Systems Design and Engineering Applications (ISDEA), 2014 Fifth International Conference on*, (págs. pp. 748-752.).
- Leonard, M. &. (2014). Design of efficient hydroponic nutrient solution control system using soft computing based solution grading. *Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), 2014 International Conference on*, (pág. pp. 14).
- Shire, A., Jawarkar, U., & Manmode, M. (2015). A Review Paper On: Agricultural Plant Leaf Disease Detection Using Image Processing. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology.*, pp 50-57.

## NOTAS DE LOS AUTORES

---

### ***Centeno Téllez. Adolfo***

Lic. en Informática, Maestría en Ciencias Computacionales y Doctor en Ingeniería de Software, principales líneas de investigación: Modelos Agiles de Ingeniería de software, Programación paralela y distribuida usando MPI, Programación de GPU's usando la tecnología CUDA de Nvidia.

### ***Olivos Lagunes. Emilia***

Facultad de Física e Inteligencia Artificial como Licenciada en Física en el año 2006 en la ciudad de Xalapa y dos años más tarde de la especialidad en "Ecotecnologías para el Desarrollo Sustentable" en la misma ciudad. En el año 2011 obtuvo el título de Maestra en Ciencias e Ingeniería de Materiales y en agosto del año 2016 el de Doctora en la misma área, ambos grados en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, CINVESTAV- Unidad Querétaro. Desarrolla investigación de Primeros Principios sobre aleaciones, con el fin de diseñar y caracterizar nuevos materiales inteligentes mediante técnicas de Simulación ~~Computacional.~~[Computacional.](#)

### ***González Hernández. Hugo G.***

Egresado de la Universidad La Salle de la carrera de Ingeniería Mecánica Electricista, realizó estudios de posgrado en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. obteniendo el grado de Maestro en

Ciencias en Ingeniería Eléctrica opción Control Automático en Agosto de 1995 y el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica opción Mecatrónica en 2002. Sus principales áreas de investigación son Análisis y Control de Sistemas No Lineales y Caos, Robótica, Visión Artificial, Computación Inteligente y Bioingeniería.