

Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) en el estudio de la tecnología de concentración solar como clave de la descarbonización. Fase II

Cycle of Improvement in the Classroom (CIC) in the study of solar concentration technology as a key to decarbonization. Phase II

Cristina Prieto Ríos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9300-6967>

Universidad de Sevilla

Departamento de Ingeniería Energética

cprieto@us.es

DOI: <http://dx.doi.org/10.12795/9788447222865.132>

Pp.: 2315-2331



Resumen

El trabajo muestra el Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) implementado en la asignatura de Centrales Solares del Grado de Ingeniería de la Energía, y en concreto, en la tecnología de concentración cilindropabólica. El objetivo de esta tercera edición del CIMA en esta asignatura es la comprensión de los conceptos fundamentales de todos los componentes claves de la tecnología, lo que incluye el campo solar, el fluido caloportador y los sistemas de almacenamiento. Tras la implementación de un modelo metodológico basado en las ideas de los alumnos y en las actividades de contraste, el CIMA implementado ha cumplido con los objetivos establecidos.

Palabras clave: Centrales solares, ingeniería de la energía, docencia universitaria, experimentación docente universitaria, almacenamiento de energía, fluido caloportador.

Abstract

The work shows the Cycle of Improvement in the Classroom (CIMA) implemented in the subject of Solar Power Plants of the Degree in Energy Engineering, and specifically, in the technology of hydrobolic concentration. The objective of this third edition of CIMA in this subject is the understanding of the fundamental concepts of all the key components of technology, including the solar field, heat transfer fluid and storage systems. After the implementation of a methodological model based on the ideas of the students and the contracting activities, the CIMA implemented has fulfilled the established objectives.

Keywords: Solar plants, energy engineering, university teaching, energy storage, heat transfer fluid.



Introducción

Descripción del contexto

Se aplica el Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) (Delor, Hamed y otros, 2020) en la asignatura *Centrales Termosolares* del Grado Universitario de Ingeniería Térmica. Durante la aplicación de este ciclo de mejora en el aula se busca que los alumnos aprendan a pensar en la resolución de problemas desde un aspecto técnico aplicado, tal y como tendrán que hacerlo en la vida laboral que están iniciando o desarrollando. El desarrollo del CIMA tiene una duración de 18 horas. El objetivo conceptual del tema elegido es llegar a comprender el concepto de *gestionabilidad en las energías renovables* y el papel clave que tienen *los sistemas de almacenamiento térmico en las plantas solares de concentración*.

El CIMA propuesto se basa en otro anterior en esta asignatura (Prieto, 2020), pero su duración se ha ampliado en 3 horas. El objetivo sigue siendo el mismo: que los alumnos lleguen a comprender tres conceptos fundamentales de la tecnología que ya se expusieron en los CIMA's anteriores. El primero es que la energía termosolar es una solución energética renovable y gestionable que da respuesta a las necesidades del mercado energético. En segundo lugar, que los alumnos comprendan que los sistemas de almacenamiento térmico son el componente clave de la tecnología que permite ajustar la curva de producción a la curva de demanda, incluso cuando no hay recurso solar disponible. Finalmente se introdujo el concepto de almacenamiento como vector clave para la descarbonización y la hibridación como la solución energética del futuro. En este nuevo CIMA se mantendrán estos objetivos, aunque se modificará el modelo metodológico para fomentar la participación de los alumnos, también se ampliará el mapa de contenidos ya que este CIMA se va a extender a todos los componentes de una de las tecnologías de la asignatura.

Conexión con el proceso previo

Anteriormente, el autor del presente CIMA realizó dos CIMA'S para esta misma asignatura, con una duración de 8 horas y 12 horas respectivamente. Se siguió el modelo metodológico basado en la combinación de actividades de prácticas, con generación de ideas de los alumnos y actividades de contraste de cara al cumplimiento de los objetivos del mapa de contenidos.

La evaluación del último CIMA fue positiva y aunque se llevó a cabo en período COVID con enseñanza *online*, los objetivos se dieron por cumplidos.



En cualquier caso, se recogieron una serie de mejoras que se han intentado implementar en el CIMA actual:

- La duración del CIMA estaba de nuevo infraestimada gracias a la participación de los alumnos.
- En docencia *online*, se debe reforzar las actividades de contrastes, minimizando la exposición del profesor y reforzando el concepto «dar clase con la boca cerrada». El alumno debe ser protagonista mayoritario promoviendo su participación y motivación.
- Hay que estimar bien la secuencia de actividades, tanto en tiempo como en contenido.

Este año el CIMA se desarrolla en docencia presencial, sin embargo, las lecciones aprendidas sobre la mejora de las actividades de contraste se han tenido en consideración y ha sido la razón para cambiar el modelo metodológico. En los CIMA's anteriores, tras las preguntas guía se desarrollaba la clase teórica de componentes, software y modelado y luego se desarrollaba la parte práctica. Este esquema no fue el más adecuado para la pandemia donde largas exposiciones vía telemática no lograban captar la atención del alumno. En este CIMA, el alumno trabajará el concepto mucho más tiempo antes de iniciar las sesiones conceptuales.

De igual forma, se vuelve a ajustar la secuencia de actividades para la duración ampliada del CIMA, que pasa de 15 horas a 18 horas.

Finalmente, indicar que se han modificado las preguntas del cuestionario y se han aplicado a cada componente a desarrollar dentro del temario de la asignatura. En los temas anteriores, la evaluación se realizó al principio y final del CIMA, mientras que en esta aplicación se han desarrollado preguntas guía en cada subapartado.

Diseño previo del CIMA

Mapa de contenido y problemas

En la figura 1 se observa el mapa de contenidos y problemas de la parte de la asignatura donde se implementa el CIMA. En él se enlazan los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales (flechas rojas) objetivos del tema. A través de este mapa se busca dar respuesta a las preguntas-problemas claves que van a guiar la adquisición de contenidos por parte del alumno y el desarrollo de un pensamiento crítico con capacidad de análisis de la tecnología.



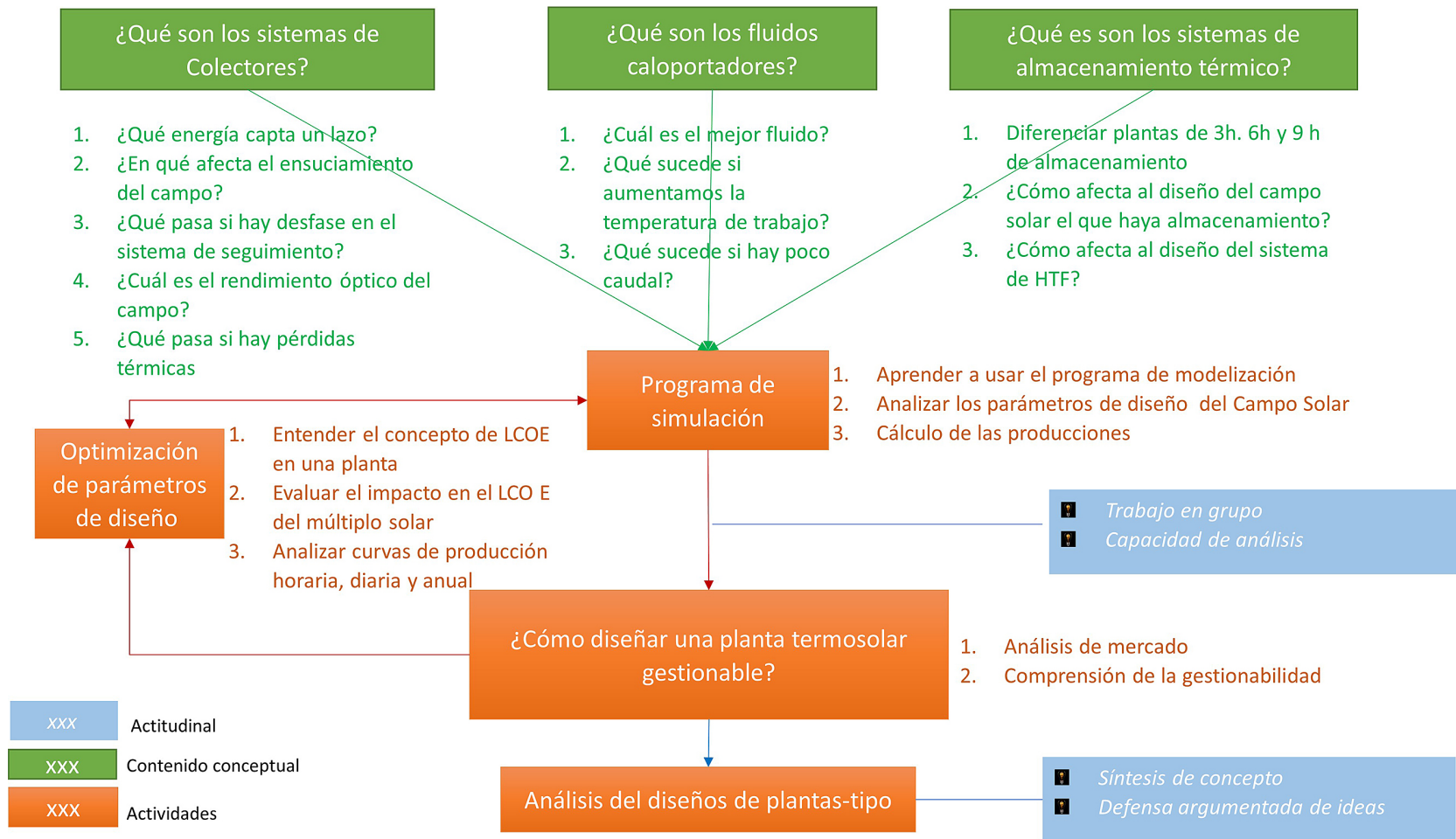


Figura 1. Mapa de contenidos y problemas.



En este mapa de contenidos se resalta el análisis de los componentes claves de la tecnología: *campo solar*, *fluido caloportador* y *almacenamiento de energía* (indicados en verde) que se corresponden con un contenido más teórico. Estos contenidos se explicarán en el orden cronológico en el que la energía del sol va pasando por la planta de generación desde que sale del sol hasta llegar al punto de conexión de la red eléctrica. Estos elementos se deben integrar en el total de la instalación y se debe comprender la sensibilidad de cada parámetro en el rendimiento global de la planta y en el perfil de generación. Los alumnos deben aprender el uso del software de diseño como futura herramienta de trabajo, para lo cual se introducen actividades de diseño.

Durante el CIMA se busca el aprendizaje del proceso de diseño, la comprensión de los componentes de la instalación y la optimización de una planta de generación. Sin embargo, también se busca fomentar las actitudes de análisis crítico de los diseños realizados, el trabajo en equipo y la defensa y argumentación de las soluciones desarrolladas de forma oral y escrita.

Modelo metodológico posible

Este CIMA se aplica en 10 clases de 1 h y 50 min cada una, haciendo un total de 18 horas. En cada clase se sigue el nuevo modelo en el que los alumnos trabajarán más de forma individual para dar respuesta a las preguntas guía y donde serán los protagonistas absolutos de las sesiones (Finkel, 2008), ampliando las actividades de contraste.

Se identifican dos modelos en función de si la sesión es clase teórica de componente o clase práctica de actividad de diseño. Cada sesión tiene una duración de 1,50 horas coincidiendo con el horario de la clase.

De forma general, ambos modelos se inician con las preguntas guía que serán el hilo conductor del análisis grupal que se ha introducido en el modelo tipo. Tras el debate, si se trata de una sesión de teoría, se lleva a cabo una clase teórica donde se exponen los conceptos básicos necesarios para desarrollar el pensamiento crítico por parte del alumno. Posteriormente se llevará a cabo una parte de debate y contraste sobre lo discutido al inicio de la sesión.

Si, por el contrario, la sesión es práctica, tras la sesión de debate se hará una sesión práctica de modelado donde los alumnos deben aprender de forma individual, con supervisión del profesor en el aula, a diseñar una parte de la instalación. La sesión concluye con una actividad de contraste por parte de los alumnos, donde se discutirán los resultados.



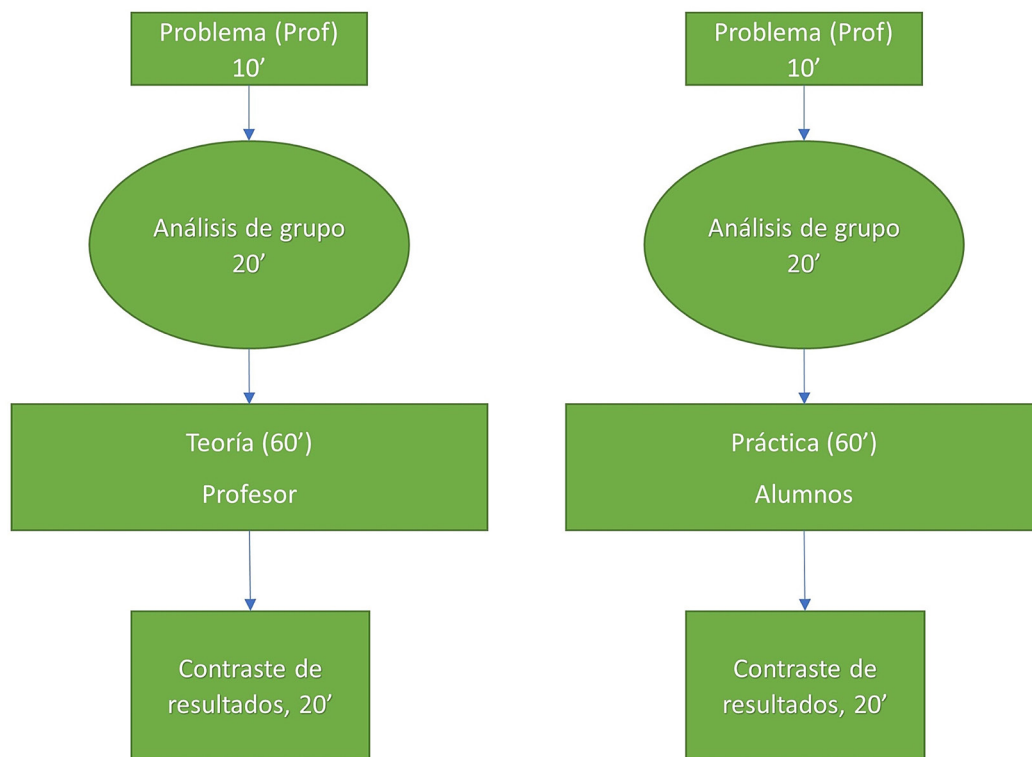


Figura 2. Modelos metodológicos de las distintas sesiones teoría y práctica.

Secuencia de actividades

En las tablas que se incluyen a continuación (tablas 1 y 2), se presentan, a modo de ejemplo, la secuencia de actividades propuesta para las primeras cuatro sesiones del CIMA, que busca facilitar el proceso de aprendizaje (Porlán, 2017).

Previo al inicio de cada sesión, los alumnos tendrán acceso a información técnica que permitirá el estudio previo de cada tema (presentación de la clase y bibliografía de interés). Los alumnos deberán llevar a clase el ordenador para la búsqueda de información, así como para las actividades de diseño que se han maximizado en este CIMA.

La secuencia de actividades se ha reconfigurado para ajustar mejor los tiempos, pero han mantenido las preguntas guía que se usan en el debate:

1. *¿Cómo puedo usar la energía solar? (Sesión 1 y 2).*
2. *¿Cuál es el mejor medio para transportar la energía del sol? (Sesión 3, 4 y 5).*
3. *Si me pagan dos veces más por la energía que vierta a la red por la noche, ¿cómo cambiaría el diseño de mi planta? (Sesión 6-8).*



4. Si me encuentro en el desierto de Atacama y la industria minera me pide un suministro energético continuo de 24 h al día ¿puedo diseñar una planta solar? (Sesión 6-8).
5. Si tengo una planta termosolar y una planta fotovoltaica en mi instalación y el precio de la energía nocturna es dos veces mayor. ¿Cómo puedo aumentar las ganancias? (Sesión 9-10).

En la secuencia de actividades, se han incluido las preguntas de los cuestionarios que se utilizarán para la evaluación del CIMA, la cual se llevará a cabo a través del análisis de las preguntas que se utilizan durante las actividades de contraste de cada sesión, tal como se recogen en las tablas adjuntas y se han señalado en color azul.

Tabla 1. Secuencia de actividades de la sesión 1-2 del CIMA

Actividades	Alcance	Tiempo
Planteamiento del caso	Se lanza la pregunta con la que se inicia el debate bajo la pregunta ¿Cómo puedo usar la energía solar? Se explica procedimiento docente a seguir.	20'
Recursos: Se entregará cuestionario en un folio. Se pedirá con nombre.		
Teoría (80' cada sesión)		
Actividad 1	Se entregan las preguntas del cuestionario: — ¿Qué energía capta un lazo? — ¿En qué afecta el ensuciamiento del campo? — ¿Qué pasa si hay desfase en el sistema de seguimiento? — ¿Cuál es el rendimiento óptico del campo? — ¿Qué pasa si hay pérdidas térmicas Se recoge las respuestas iniciales y se desarrolla el debate	20'
Actividad 2	2 clases teóricas sistemas de concentración solar. Se entrega bibliografía de la materia. Recurso: Power point y documentación técnica subida a EV una semana antes.	60'
Actividad 3	Se entrega listado de preguntas a contestar durante la sesión de debate. Los alumnos deberán calcular todos los mecanismos de transferencia y rendimientos del campo respondiendo a las preguntas del cuestionario inicial entregado. La profesora irá trabajando para resolver los problemas asociados al cálculo de los parámetros. Las dudas se explicarán en voz alta para su explicación conjunta. Las respuestas definitivas de cada alumno tras el debate se mandan por correo a la profesora.	60'



Tabla 2. Secuencia de actividades de sesión 3-4 del CIMA

Actividades	Alcance	Tiempo
Actividad 1	Se lanza la pregunta guía y se inicia el debate: ¿Cuál es el mejor medio para transportar la energía del sol? Se entregan las preguntas del cuestionario: — ¿Cuál es el mejor fluido? — ¿Qué sucede si aumentamos la temperatura de trabajo? — ¿Qué sucede si hay poco caudal? Se recoge las respuestas iniciales y se inicia debate.	30'
Actividad 2	2 clases teóricas sistemas de las propiedades de los fluidos ca- loportadores (sesión 3 y 4). Se entrega bibliografía de la materia. Recurso: Power point y documentación técnica subida a EV una semana antes.	60'
Actividad 3	Los alumnos empezaran a trabajan en grupo para responder de nuevo a las preguntas del cuestionario inicial. Las dudas se explicarán en voz alta para su explicación conjunta. Las respuestas definitivas de cada alumno tras el debate se mandan por correo a la profesora.	60'

Aplicación del CIMA

Relato resumido de sesiones

Durante la aplicación del CIMA, se ha seguido con bastante rigurosidad la secuencia de actividades planeadas (SSAA) hasta que se inicia la sesión 5. De manera general, se puede decir que la participación de los alumnos ha sido elevada y que a medida que aumentaban los conocimientos de los alumnos, la desviación en tiempo de las sesiones finales se ha hecho más relevante, no solo por su participación sino también porque han solicitado modificaciones que facilitaban la metodología.

Sesión 1: En esta sesión se siguió la SSAA. En la primera parte se explicó la metodología docente y cómo los cuestionarios iban a ayudar a la evaluación de la metodología. Se resaltó que no se evaluaba su conocimiento de manera individual, solo su grado de avance a nivel de grupo. Tal como ya viene siendo habitual, esto generó bastante desconfianza que en sesiones posteriores se mitigó. Se lanzó la pregunta guía y se inició un debate que mejoró la participación del grupo. Se entregó el cuestionario asociado a las dos primeras sesiones, ya que en este CIMA se buscaba que cada componente estudiado fuera analizado bajo la perspectiva de su impacto en la solución global. Este concepto fue difícil de asimilar. Tras el debate se inició la clase teórica.



Sesión 2: En esta sesión de nuevo se continuó con la exposición teórica, siempre haciendo alusión a las preguntas del cuestionario la clase. A resaltar que las clases de teoría también han integrado la participación de los alumnos a través de preguntas continuas de la profesora. La sesión finalizó con la discusión en clase de los conceptos de la concentración y, aunque se planificó que las respuestas de los alumnos se enviarían por correo, la recogida de la segunda ronda de respuestas de las preguntas guía se hizo en clase a petición de los alumnos.

Sesión 3 y 4: En estas sesiones se repitió el modelo de las sesiones anteriores y se desarrolló de manera similar a lo expuesto anteriormente. En este caso, se buscaba la comprensión de los criterios de diseño de cualquier instalación de fluidos de transferencia. Se entregaron las preguntas guía de las sesiones y la principal modificación seguida fue que la segunda entrega de las respuestas se hizo en clase. La sesión se desarrolló de manera muy interactiva y con alta participación.

Sesión 5: En esta sesión los alumnos ya empezaron a diseñar una instalación. La sesión sufrió una desviación significativa respecto a las actividades programadas y es que las actividades 2 y 3 de teoría y trabajo práctico se intercalaron, de manera que los alumnos empezaron la comparativa de los distintos fluidos y de manera simultánea se explicó cada componente. De esta forma, la explicación teórica llegó tras los análisis iniciales del trabajo en grupo.

Sesión 6: En la sexta sesión, se cambió el orden de la SSAA y se realizó la clase correspondiente a la sesión 8 de la programación. Este cambio se produjo tras varias clases de teoría y a petición de los propios estudiantes que querían empezar a trabajar en la modelización de la instalación y en el aprendizaje del software de referencia (System Advisor Modeller). La sesión práctica se desarrolló modelando cada uno de los componentes que habíamos visto en las sesiones anteriores. La práctica se realizó también trabajando los catálogos comerciales de los fabricantes lo que permitió a los alumnos interpretar información comercial de componentes claves y su impacto en el diseño. A la finalización de la sesión, se solicitó a la profesora más sesiones formativas en este formato.

Sesión 7 y 8: En la séptima se entregó la pregunta guía del debate sobre la gestionabilidad de las plantas de concentración y dio comienzo la discusión. Los alumnos, que ya manejaban los conceptos de rendimiento, campo solar y fluido caloportador, empezaron a incorporar el concepto de almacenamiento de energía. En la sesión se entregaron las preguntas guía asociadas al componente de almacenamiento y se llevaron a cabo las dos sesiones teóricas. Al final de la sesión 8 se solicitó la entrega del formulario.



Sesión 9 y 10: Las dos últimas sesiones fueron de nuevo clases prácticas de modelado de la instalación, donde se realizó el modelado del sistema de almacenamiento y se finalizó con un proceso iterativo de optimización basado en criterios tecnoeconómicos. Esto permitió definir parámetros fundamentales de la viabilidad técnica financiera de soluciones renovables en el mercado energético. Los estudiantes trabajaron en grupos de 4 personas, la dinámica fue muy activa y al cierre de este CIMA está pendiente la entrega final de los trabajos de diseño que se hará al final del cuatrimestre.

El resultado de las sesiones ha sido muy motivador para esta docente, donde tras el año de confinamiento y clases *online*, se ha podido desarrollar este CIMA en un ambiente muy participativo, con alta iniciativa de los alumnos, a los que felicito como profesora por haber mostrado tanto interés y haber fomentado una actitud crítica que daba lugar a debates técnicos de mayor nivel al de años anteriores.

Seguimiento del aprendizaje. Escaleras de aprendizaje

La herramienta clave para identificar las dificultades que encuentran los alumnos en el aprendizaje del tema es el análisis de los cuestionarios inicial y final (Porlán, 2017).

Tal como se indica en la secuencia de actividades, se les entrega una pregunta guía para los debates y unos cuestionarios inicial y final asociado a cada componente, con el objetivo de evaluar el punto de partida de cada alumno respecto a los contenidos a impartir. Se les solicita que usen sus nombres o un seudónimo que se debe mantener en todos los cuestionarios. A partir del cuestionario inicial-final se elaboran las escaleras de aprendizaje con una comparativa de los avances en los principales conceptos objetivo de la asignatura. En las siguientes figuras (figuras 4 a 6) se muestran las escaleras de aprendizaje que se han elaborado. Como criterio de evaluación se han definido de manera simultánea los *obstáculos* de cada peldaño. Esta evaluación por componente es diferente a los CIMA's anteriores donde solo se evaluaba el concepto global de la asignatura. El haber aplicado las escaleras a cada componente ha permitido identificar los conceptos con mayor dificultad de comprensión.

En el caso del campo solar (figura 4), se ve como los alumnos parten de una falta de comprensión de conceptos fundamentales como son el rendimiento de una instalación y los conceptos de pérdidas ópticas, geométricas y térmicas. La mejora es relevante al finalizar el CIMA, sin embargo, ha habido un porcentaje que no ha llegado al nivel mínimo requerido, lo que hará que se modifique el contenido de esta parte en futuros cursos para paliar esta deficiencia detectada.



Pregunta CCP 1, ¿Qué energía capta un lazo?

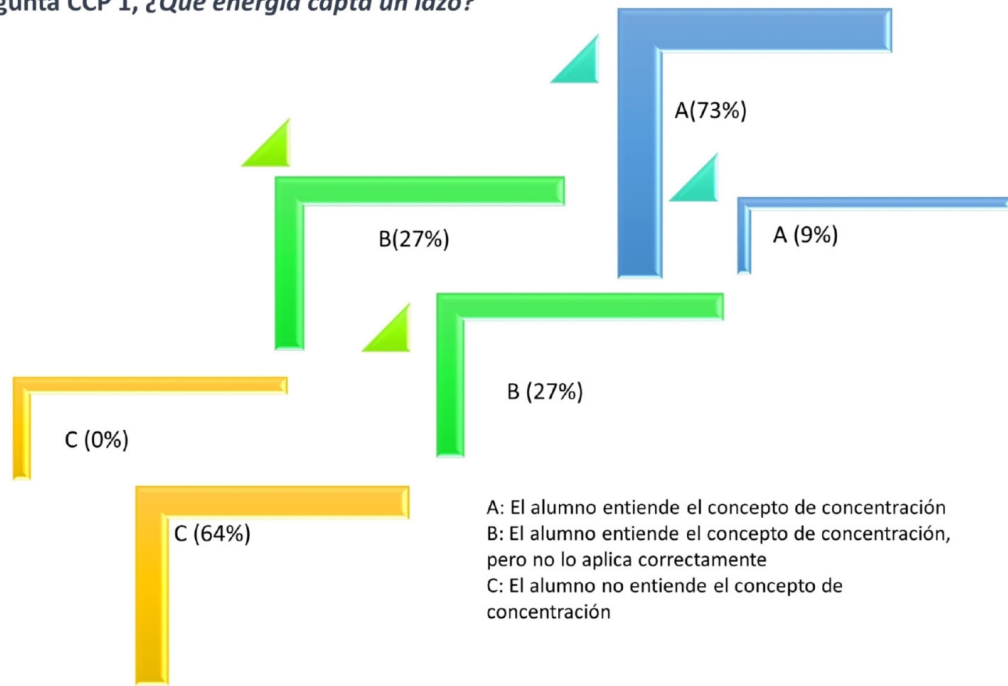


Figura 3. Escalera de aprendizaje componente Campo Solar (1).

Pregunta CCP 2, ¿En qué afecta el ensuciamiento del campo?

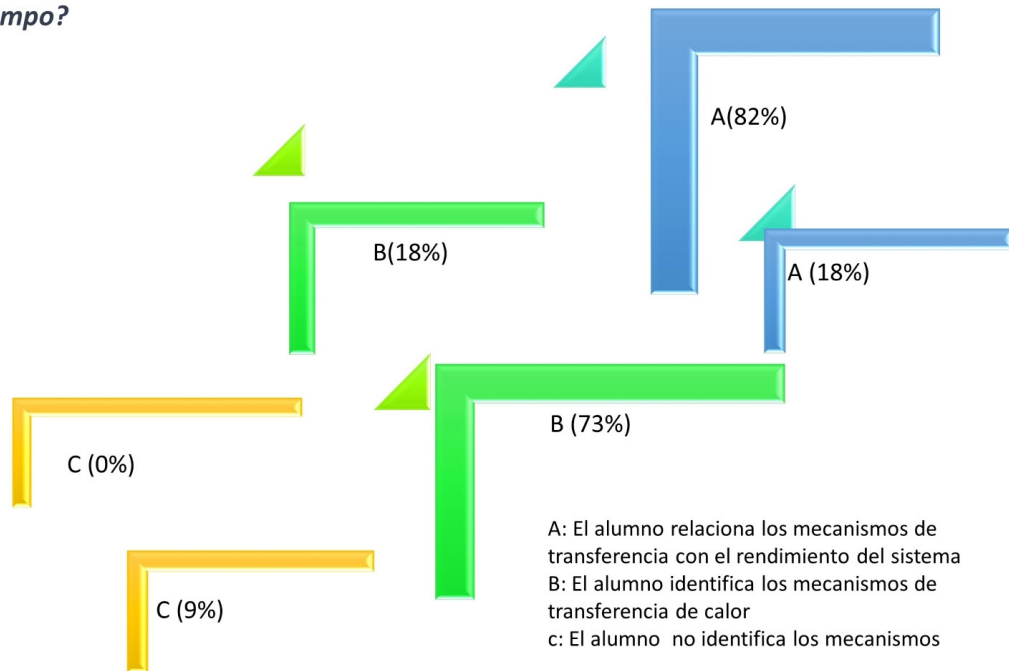


Figura 4. Escalera de aprendizaje componente Campo Solar (2).



Pregunta CCP 3, ¿Cuál es el rendimiento óptico del campo?

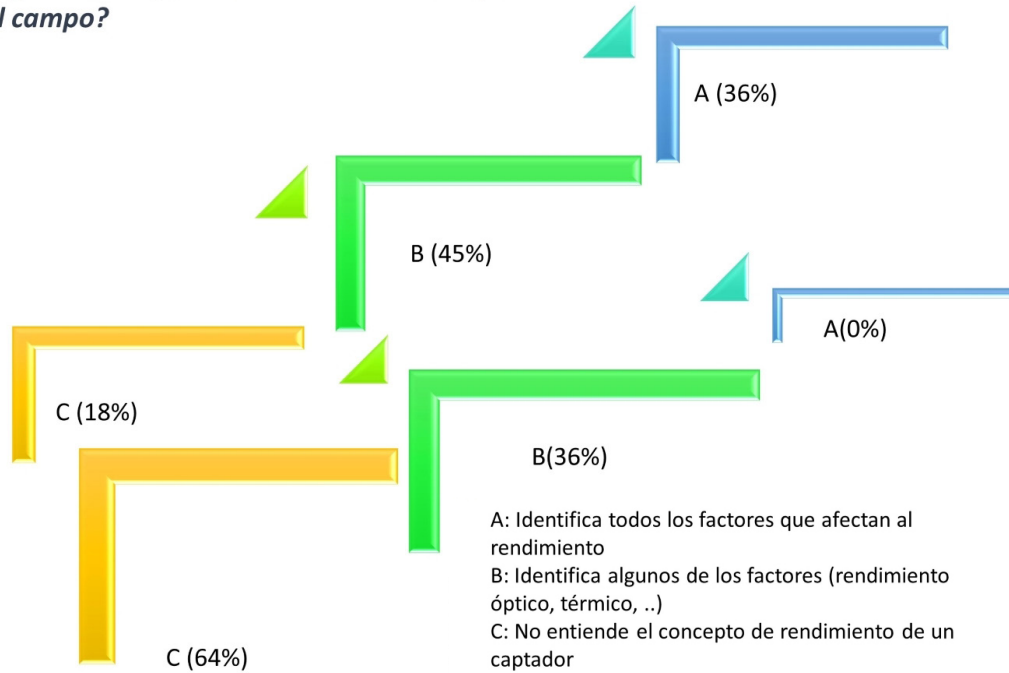


Figura 5. Escalera de aprendizaje componente Campo Solar (3).

La escalera del componente fluido caloportador (figuras 6, 7 y 8), al igual que el caso anterior, presenta la mejora buscada en la comprensión de los requerimientos de un fluido de transferencia, pero de nuevo hay un 9% que no ha adquirido los conceptos fundamentales.

Pregunta HTF1, ¿Cuál es el mejor fluido?

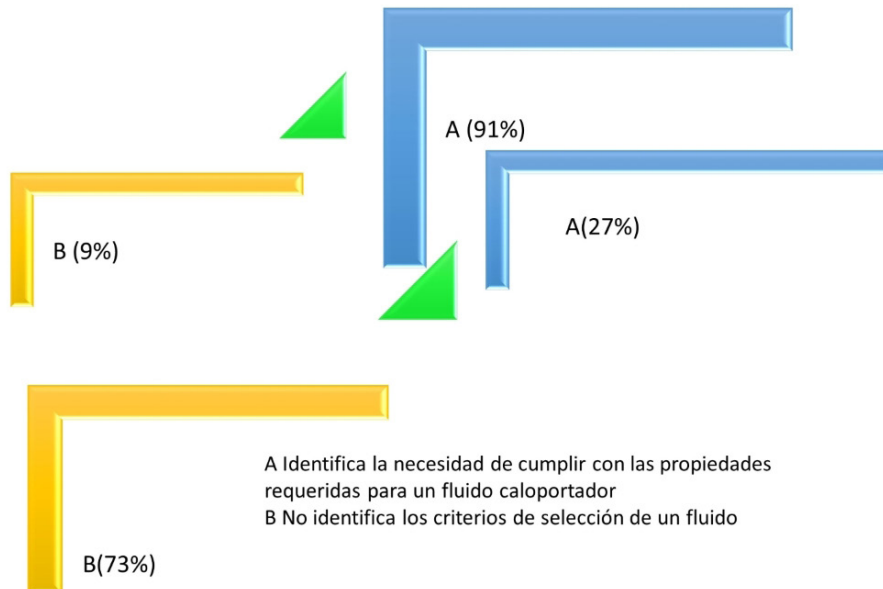


Figura 6. Escalera de aprendizaje componente HTF (1).



Pregunta HTF 2, ¿Qué sucede si aumentamos la temperatura de trabajo?

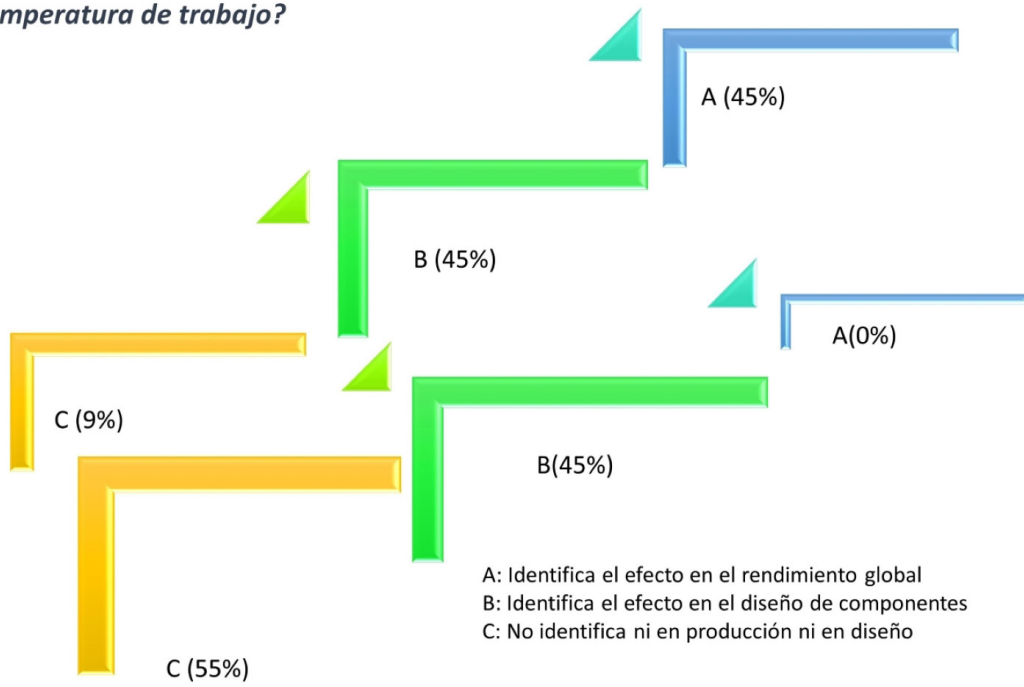


Figura 7. Escalera de aprendizaje componente HTF (2).

Pregunta HTF 3, ¿Qué sucede si hay poco caudal?

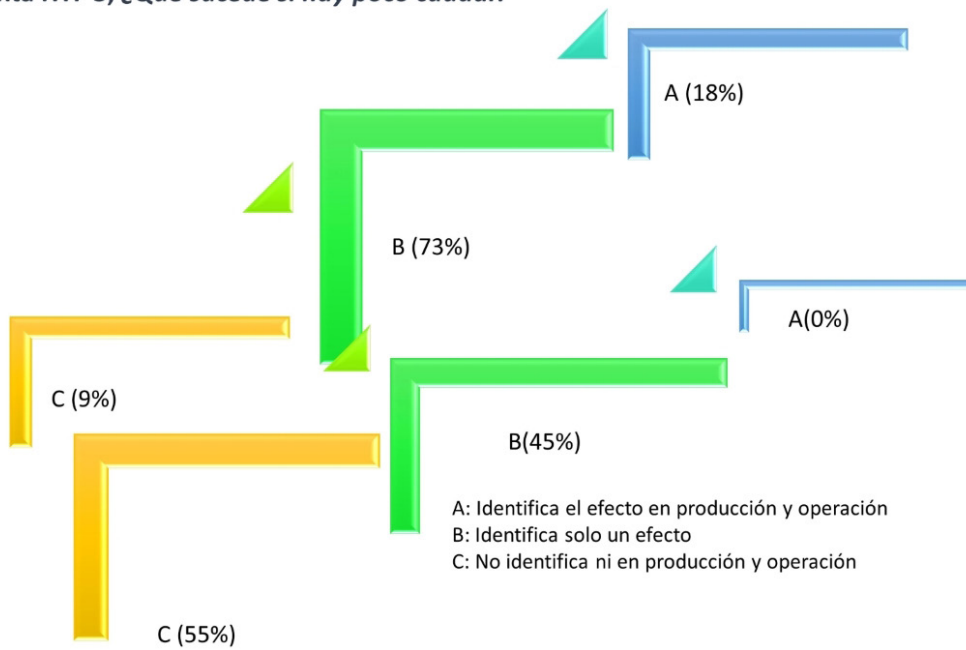


Figura 8. Escalera de aprendizaje componente HTF (3).



Finalmente, el concepto de almacenamiento (figura 9), que fue el tratado en los CIMAS anteriores, si ha mostrado una tasa de éxito casi total.

Pregunta TES, ¿Cómo afecta al diseño del campo solar el que haya almacenamiento?

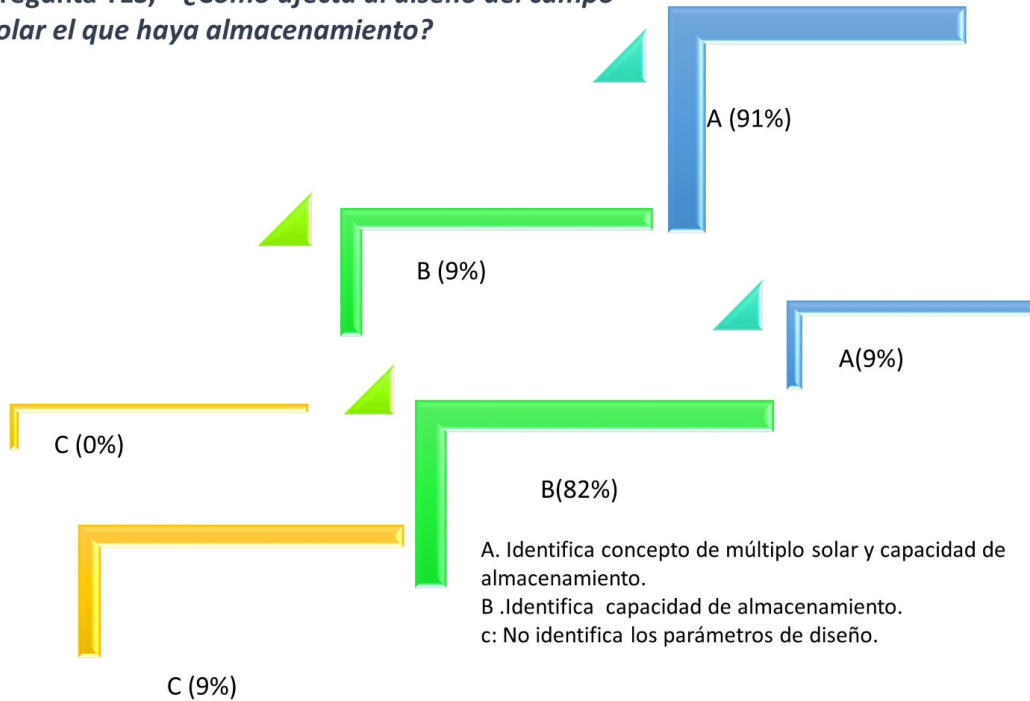


Figura 9. Escalera de aprendizaje componente Almacenamiento.

Es de esperar que, gracias a este análisis de componente, que muestra la necesidad de mejorar conceptos fundamentales en el área de campo solar y fluidos, se mejore el mapa de contenido de dichos componentes y permita alcanzar un grado de éxito total en futuros CIMAS.

Evaluación del Estudiante. Portafolio

La docente ha preparado una carpeta con la actividad desarrollada por cada alumno que ha permitido la evaluación tanto de la metodología docente como del trabajo técnico que se ha llevado a cabo y que se usará en la evaluación continua que se ha aplicado en la calificación de la asignatura.



Evaluación del propio diseño y de mi intervención

Al final de cada clase se ha recogido por escrito en el diario de la profesora una descripción de la sesión, los detalles de las desviaciones y sobre todo los cambios propuestos por los estudiantes que han hecho propio el diseño de la metodología docente. En general la valoración es muy positiva y motivadora.

Al finalizar el CIMA se ha planteado el debate de la metodología, y con unanimidad los comentarios han sido positivos. Resaltaron el carácter práctico de la asignatura y sobre todo aprobaron el hecho de haberles dado la opción de diseñar con la docente la metodología de las sesiones, la cual ha mostrado una actitud receptiva a sus propuestas que se tradujo en cambios en la SSAA acordes a sus peticiones. Eso fue muy valorado en la sesión final.

Evaluación del CIMA

Principios Didácticos argumentados que han guiado la experiencia y que considero que deben permanecer en el futuro:

- *Reconfigurar el aula, quitar al profesor del centro y Poner a los estudiantes a trabajar, del libro *Dar clase con la boca cerrada* (Finkel, 2008).*
- *Aportar las ayudas necesarias en el proceso de aprendizaje del alumno (mediante actividades y recursos específicos) para orientar la transición desde los modelos propios del alumno a los propios de la disciplina, conocer y analizar los modelos mentales del alumno mediante los cuestionarios y escaleras de aprendizaje, la evaluación del estudiante durante el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el portafolio o carpetas de aprendizaje y la evaluación del docente y del diseño didáctico durante el proceso mediante el diario del profesor y las encuestas de opinión del libro *Enseñanza Universitaria. Cómo mejorarla* (Porlán, 2017).*

Cuestiones a mantener y cambios a introducir para un futuro CIMA

Teniendo en cuenta los principios didácticos anteriores, considero que el CIMA se ha desarrollado de manera satisfactoria tanto para los alumnos como para el docente y que el aprendizaje se ha producido. Por tanto, para un futuro CIMA:

- Se mantendrá el mapa de contenidos y problemas.
- Se mantendrá el modelo metodológico.



- Se cambiará la secuencia de actividades implementando las propuestas que han surgido de este CIMA, con las modificaciones incorporadas a petición de los alumnos.
- Se mantendrá los cuestionarios inicial y final a nivel de componentes, pero se reducirá el número de preguntas.
- Se incorporará finalmente un cuestionario global de planta que en esta sesión no se llevó a cabo y eso ha ocasionado pérdida relevante de información sobre la adquisición de conocimiento global.
- Se mantiene el uso del portafolio y del diario del profesor para la evaluación del estudiante durante el proceso de enseñanza aprendizaje que se produzca durante el CIMA.

Referencias bibliográficas

- Delord, G.; Hamed, S.; Porlán, R. y De Alba, N. (2020). Los Ciclos de Mejora en el Aula. En N. De Alba y R. Porlán (Coords.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica* (pp. 128-162). Ediciones Morata.
- Finkel, D. (2008). *Dar clase con la boca cerrada*. Publicaciones Universidad de Valencia.
- Porlán, R. (2017). *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla*. Ediciones Morata.
- Prieto, C. (2020). Ciclo de Mejora del Aprendizaje en Enseñanzas Técnicas de Introducción al Acondicionamiento Ambiental y a las Bases de los Sistemas Constructivos. En E. Medina y R. Porlán (Coords.), *Ciclos de mejora en el aula. Año 2019. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 2474-2492). Editorial de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447221912.111>.



