

Potenciando el Aprendizaje y la Participación del estudiante en las Imperfecciones Cristalinas mediante un ciclo de mejora en el aula

Enhancing Student Learning and Participation in Crystal Defects through a Classroom Improvement Cycle

Víctor Manuel Candelario Leal

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4016-9073>

Universidad de Sevilla

Departamento de Ingeniería, Ciencia de los Materiales y
el Transporte

vcandelario@us.es

DOI: <http://dx.doi.org/10.12795/9788447231898.037>

Pp.: 533-546



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0
Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

Resumen

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación del Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) en la asignatura Ingeniería de Materiales, del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla. El objetivo principal de esta intervención ha sido mejorar la comprensión de los conceptos relacionados con las imperfecciones cristalinas y los procesos de difusión atómica, fundamentales para el desarrollo de la asignatura. El CIMA ha incentivado la participación activa de los estudiantes durante las clases, promoviendo el debate, el intercambio de ideas y la conexión entre los conceptos teóricos y sus aplicaciones prácticas. Además, ha avivado la curiosidad de los alumnos por profundizar en los temas tratados, mejorando su interés por una asignatura considerada abstracta y compleja. La implementación del CIMA también ha proporcionado al docente nuevas herramientas pedagógicas para la enseñanza y la evaluación, así como recursos más efectivos para diseñar clases dinámicas y accesibles en futuras ediciones de la asignatura.

Palabras clave: Ingeniería de materiales, grado en ingeniería electrónica industrial, docencia universitaria, desarrollo profesional docente.

Abstract

This chapter presents the results of applying Improvement Cycles in Classroom (ICIC) to the Materials Engineering course, part of the bachelor's degree in industrial electronic engineering at the School of Engineering of the University of Seville. The primary objective of this intervention was to enhance students' understanding of concepts related to crystalline imperfections and atomic diffusion processes, which are fundamental to the course's development. The ICIC has encouraged active student participation in classes, fostering debate, idea exchange, and the connection between theoretical concepts and their practical applications. Moreover, it has sparked students' curiosity to delve deeper into the topics, increasing their interest in a subject often considered abstract and challenging. The implementation of ICIC has also provided the instructor with new pedagogical tools for teaching and assessment, as well as more effective resources for designing dynamic and accessible lessons for future iterations of the course.

Keywords: Materials Engineering, bachelor's degree in industrial electronic engineering, university teaching, professional development in teaching.



Introducción

La asignatura en la que se basa mi Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) (Porlán, 2017) es Ingeniería de Materiales del 2º curso del Grado de Ingeniería Electrónica Industrial, que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla. Es una asignatura obligatoria de la carrera, la cual el contenido es completamente diferente al que están acostumbrados a estudiar en la carrera y normalmente a los alumnos no les gusta nada el contenido de esta asignatura, ya que es un contenido bastante abstracto y difícil de seguir sobre todo los primeros temas. Es grupo más o menos numeroso, de unos 60 alumnos, pero a clase suelen ir entre 30 y 40, cada vez menos, la clase son mesas grandes con todas las sillas seguidas y una tarima donde el profesor está subido, con el proyector y la pizarra. Suelo tener un gran número de repetidores, que suelen ser lo que más interactúan. Noto que son alumnos muy jóvenes y les cuesta mucho conectar con la asignatura en general y con los conceptos.

Diseño previo del CIMA

El Ciclo de Mejora en el aula se realiza en el bloque I. Imperfecciones cristalinas de la asignatura de Ingeniería de materiales. El objetivo principal es que, una vez aplicado el CIMA de 7 horas y media, los alumnos sean capaces de conocer las imperfecciones en los materiales y la importancia del proceso de difusión de esas imperfecciones para poder obtener diferentes propiedades finales de los materiales, así como que el alumno mostrara más interés por la asignatura y que sean capaces de comprender los conceptos más importantes.

Este es el último tema del Bloque I, que se basa sobre todo en la estructura interna de los materiales, y es la base para poder entender el resto de los temas de la asignatura. El principal obstáculo hasta ahora es la falta de atención del alumno hacia la asignatura, y la complejidad de la teoría que se imparte.

Mapas de contenidos y problemas claves

En la figura 1 se presenta el mapa de contenidos y los problemas diseñados para integrar la metodología CIMA en el estudio del tema de imperfecciones cristalinas (Rodríguez Albelo, 2024). Para abordar este tema de manera adecuada, es imprescindible que los estudiantes hayan adquirido un dominio sólido de los contenidos previos de la asignatura, los cuales se han explicado en profundidad. En particular, se espera que los alumnos comprendan plenamente los diferentes tipos de materiales existentes, tales como metálicos, cerámicos y poliméricos.



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

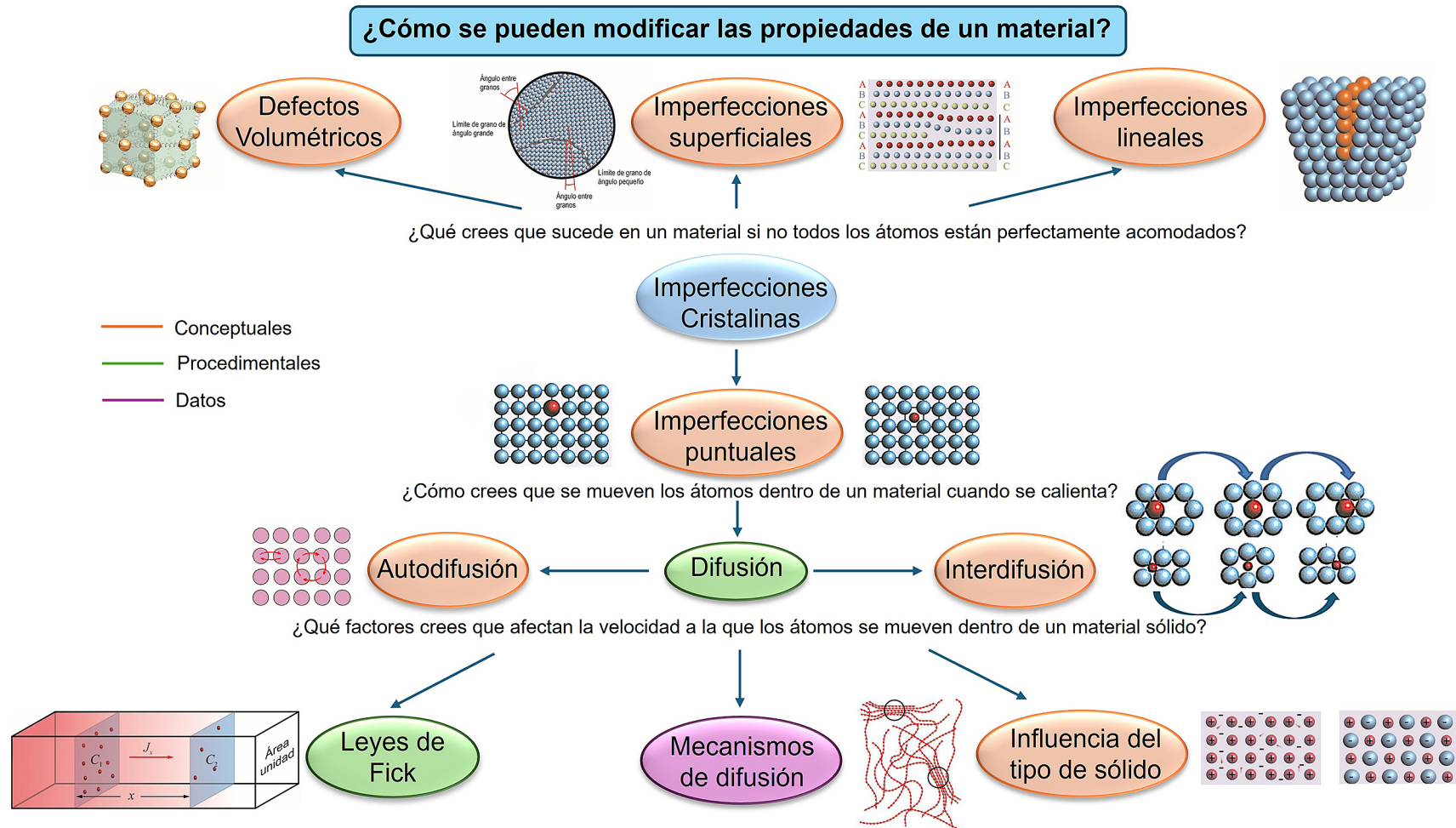


Figura 1. Mapa de contenidos y problemas clave



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0
Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

Durante la implementación del CIMA, se propondrá una serie de problemas clave en los que los estudiantes concentrarán sus esfuerzos para encontrar soluciones. Estos problemas clave son los siguientes:

1. ¿Qué sucede en un material si los átomos no están perfectamente acomodados?
2. ¿Por qué algunos materiales son más frágiles o mejores conductores que otros, aunque estén compuestos del mismo tipo de átomos?
3. ¿Cómo se mueven los átomos dentro de un material cuando este es sometido a calentamiento?
4. ¿Qué factores influyen en la velocidad de movimiento de los átomos en un material sólido?

La resolución de estos problemas permitirá a los estudiantes comprender los aspectos fundamentales de la metodología CIMA, así como dominar el tema de imperfecciones cristalinas. Este conocimiento será esencial para abordar con éxito la última parte de la asignatura, que constituye su núcleo principal.

Modelo metodológico y secuencias de actividades

En la figura 2 se muestra el modelo metodológico propuesto para la aplicación del CIMA. Al ser este tema un pilar de la asignatura, el CIMA se ha diseñado siguiendo el modelo de ideas de los alumnos y actividades de contraste simultáneas.

En este enfoque metodológico, propongo iniciar cada clase con un repaso inicial (RI), que sirva para situar al alumno entre clase y clase donde lo dejamos y donde lo vamos a retomar, una vez realizado el repaso inicial, se propondrá el problema (Pr) que sirva como punto de partida para captar el interés de los estudiantes y orientar su curiosidad hacia el tema principal que se abordará en la sesión. El desarrollo de la clase se centra en fomentar la participación activa de los alumnos (IA) mediante el empleo de diversas actividades de contraste (AC). Estas actividades están diseñadas para analizar tanto las respuestas correctas como las incorrectas, argumentándolas con base en los conceptos correspondientes, y animando a los estudiantes a plantear nuevas propuestas.

Al término de cada sesión, invito a los estudiantes a realizar una breve síntesis (S) que resuma los aspectos más relevantes de esa sección o de la sesión completa.



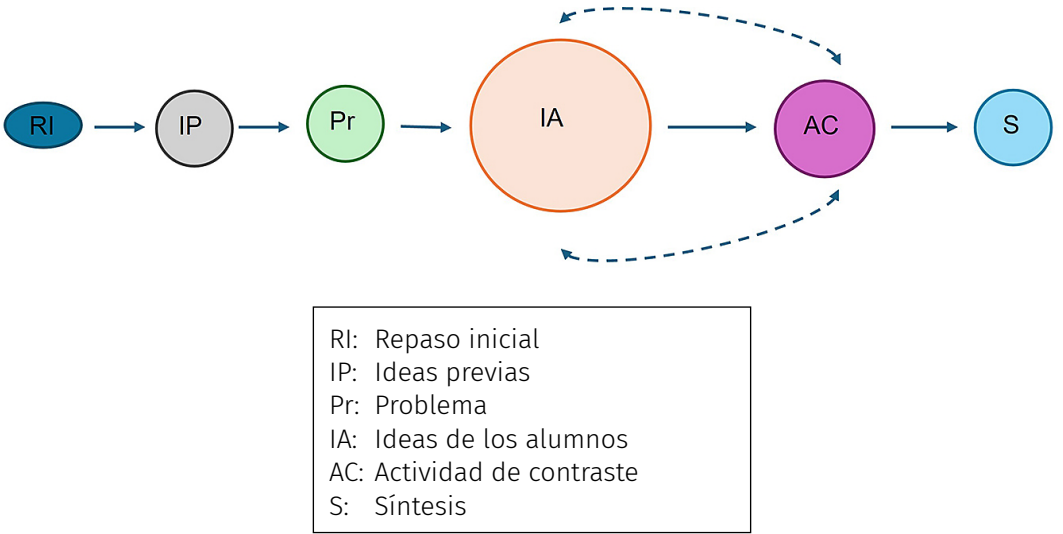


Figura 2. Modelo metodológico propuesto

Una vez descrito el modelo metodológico propuesto, en la tabla 1, se muestra la secuencia de actividades propuestas para las 5 sesiones de 1 hora y media cada una.

Tabla 1. Secuencia de actividades propuestas

Actividad	Descripción	Duración	Recursos
Sesión 1 + Sesión 2			
RI-1	Repaso inicial y enlace con los temas anteriores	5 min	Proyector, pizarra
AC-1	Cuestionario de ideas previas	15 min	Cuestionario
Pr-1	Propuesta del primer problema clave: ¿Qué crees que sucede en un material si no todos los átomos están perfectamente acomodados?	5 min	Proyector, pizarra
IA-1	Interpretación de los sistemas de imperfecciones cristalinas. Mediante lluvia de ideas se irán evaluando cada sistema de imperfecciones	10 × 6 min	Proyector, pizarra
AC-2	Resolución de los problemas relacionados con cada sistema de imperfecciones cristalinas	10 × 6	Proyector, pizarra
S-1	Síntesis final	5 min	Proyector, pizarra



Actividad	Descripción	Duración	Recursos
Sesión 3			
RI-2	Repaso inicial y enlace con los temas anteriores	5 min	Proyector, pizarra
Pr-2	Propuesta del segundo problema clave: ¿Por qué piensas que algunos materiales pueden ser más frágiles o conductores que otros, aunque estén hechos del mismo tipo de átomos?	5 min	Proyector, pizarra
IA-2	Introducción al concepto de difusión. Se explicará de forma dinámica con la ayuda de videos donde se ve la evolución de la microestructura con el tiempo de los diferentes tipos de materiales, y como esta evolución cambia en sus propiedades mecánicas	10 × 3 min	Proyector, pizarra
AC-3	Resolución de problemas relacionados con la difusión	10 × 3 min	Proyector, pizarra
S-2	Síntesis final	5 min	Proyector, pizarra
Sesión 4 + Sesión 5			
RI-3	Repaso inicial y enlace con los temas anteriores	5 min	Proyector, pizarra
Pr-3	Propuesta del tercer y cuarto problema clave: ¿Cómo crees que se mueven los átomos dentro de un material cuando se calienta? Y ¿Qué factores crees que afectan la velocidad a la que los átomos se mueven dentro de un material sólido?	5 × 2 min	Proyector, pizarra
IA-3	Relacionar el concepto de difusión con la temperatura. Se explicará de forma dinámica con la ayuda de videos donde se ve la evolución de la microestructura con el tiempo y con respecto a la temperatura, se explicará bien la primera y segunda ley de Fick	10 × 6 min	Proyector, pizarra
AC-4	Resolución de problemas relacionados con la primera y segunda ley de Fick	10 × 6 min	Proyector, pizarra
S-3	Síntesis final	5 min	Proyector, pizarra



Cuestionario inicial-final

Imagina que estás trabajando en el desarrollo de un nuevo sensor de temperatura para un sistema de automatización industrial. Este sensor necesita ser muy preciso y funcionar de manera fiable a lo largo del tiempo, incluso en entornos donde las temperaturas pueden variar drásticamente. Un día, uno de tus compañeros en el equipo de desarrollo te señala que el material que están utilizando para fabricar los componentes del sensor podría tener imperfecciones a nivel atómico que afecten su rendimiento. Estas imperfecciones pueden influir en la durabilidad, la sensibilidad y hasta la velocidad de respuesta del sensor cuando se expone a cambios de temperatura.

Tienes que evaluar cómo esas imperfecciones podrían impactar la eficiencia del sensor y proponer mejoras. Además, te das cuenta de que, aunque el material está hecho del mismo tipo de átomos, otros sensores similares funcionan de manera diferente: algunos son más frágiles, mientras que otros son mejores conductores. Por lo tanto, esta situación te lleva a hacerte estas cuatro preguntas:

1. ¿Qué crees que sucede en un material si no todos los átomos están perfectamente acomodados?
2. ¿Por qué piensas que algunos materiales pueden ser más frágiles o conductores que otros, aunque estén hechos del mismo tipo de átomos?
3. ¿Cómo crees que se mueven los átomos dentro de un material cuando se calienta?
4. ¿Qué factores crees que afectan la velocidad a la que los átomos se mueven dentro de un material sólido?

Aplicación del CIMA

Relato resumido de las sesiones

En el segundo ciclo de mejora de la asignatura de Ingeniería de Materiales, se trabajó con un grupo de 20 a 30 estudiantes de 60 matriculados en total, lo que implicó desafíos en la motivación y el compromiso de los alumnos, especialmente debido a la naturaleza abstracta y difícil del contenido. La clase se estructuró en actividades activas y participativas, con el objetivo de hacer que los estudiantes conectaran más con los conceptos.

La sesión comenzó con un repaso de los tipos de materiales estudiados, destacando los sólidos ideales y promoviendo la interacción con los alumnos para activar sus conocimientos previos. A continuación, se realizó



un cuestionario de ideas previas, lo que permitió obtener una primera visión sobre el entendimiento de los estudiantes.

Luego, se introdujeron preguntas clave como «¿Qué crees que sucede en un material si no todos los átomos están perfectamente acomodados?», para fomentar el debate y la reflexión en clase. Durante las siguientes actividades, los estudiantes trabajaron en parejas para resolver ejercicios sobre imperfecciones cristalinas, mientras que yo facilitaba la resolución de los problemas en la pizarra, alternando entre la interpretación de conceptos y la resolución práctica de ejercicios.

La estructura de las sesiones, con breves resúmenes y espacios para la discusión, buscaba mantener el interés de los estudiantes, especialmente de los repetidores, quienes tienden a ser más activos durante las clases.

Lo que funcionó bien durante el ciclo fue la utilización de actividades que involucraban a los estudiantes en la reflexión activa y el trabajo en grupo. Esto permitió que algunos de ellos se sintieran más comprometidos con el proceso de aprendizaje, lo cual fue particularmente útil en el caso de los repetidores. La estrategia de alternar entre teoría e interacción práctica, como se observó en las actividades de interpretación de sistemas de imperfecciones cristalinas y la resolución de ejercicios en la pizarra, promovió un aprendizaje más dinámico y comprensible (Bain, 2007; Finkel, 2008; Porlán, 2017).

Sin embargo, los principales desafíos fueron la falta de atención en algunos estudiantes y la complejidad de los conceptos, lo que dificultó la comprensión para aquellos con menos interés en la materia. El grupo numeroso también representó una barrera para poder hacer un seguimiento más personalizado de cada estudiante, lo que llevó a que algunos no participaran tanto como se esperaba.

En el próximo ciclo de mejora, me centraría en implementar actividades más personalizadas y estrategias para aumentar la motivación, como el uso de ejemplos más cercanos a la realidad profesional de los estudiantes y hacer los contenidos más accesibles. La propuesta de fomentar una mayor interacción y participación es valiosa, pero en contextos con clases grandes, se necesita repensar cómo gestionar el tiempo y las interacciones para asegurarse de que todos los estudiantes puedan aprovechar al máximo las actividades.

Evaluación del aprendizaje de los estudiantes

La figura 4 presenta las escaleras de aprendizaje (Villarejo-Ramos, 2020) diseñadas a partir del análisis de las respuestas obtenidas en el cuestionario inicial y final.



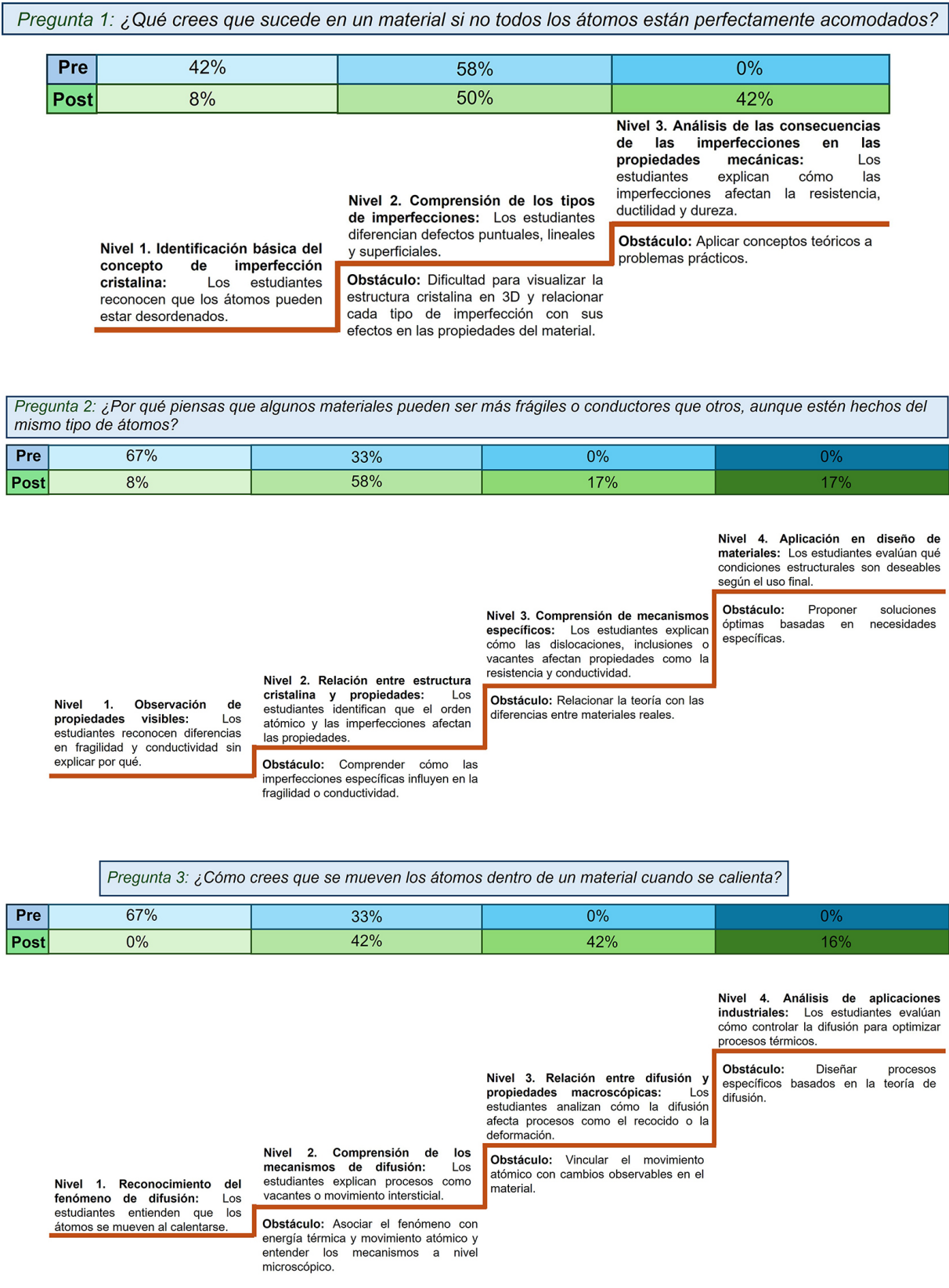


Figura 3. Escaleras de aprendizaje



Esta obra se distribuye con la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0.)

Pregunta 4: ¿Qué factores crees que afectan la velocidad a la que los átomos se mueven dentro de un material sólido?

Pre	83%	17%	0%	0%
Post	8%	50%	34%	8%

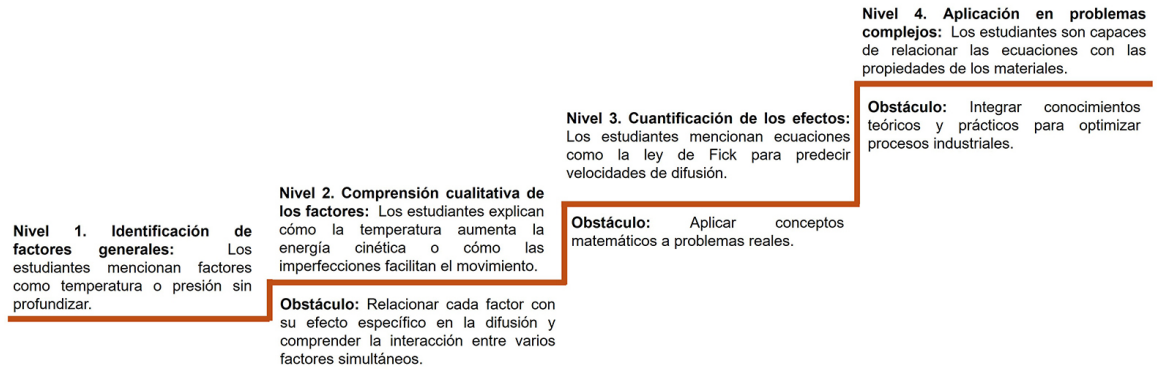


Figura 3. Escaleras de aprendizaje (continuación)

El análisis general de las cuatro escaleras de aprendizaje revela avances significativos en la comprensión de los conceptos fundamentales relacionados con las imperfecciones cristalinas, las propiedades de los materiales y los mecanismos de difusión atómica. A continuación, se presenta un resumen de los aspectos más destacados:

- Progreso general: Los estudiantes han demostrado un progreso notable en su capacidad para abordar temas complejos. Desde la comprensión básica de las imperfecciones cristalinas y sus efectos en las propiedades de los materiales, hasta el análisis de la difusión atómica y los factores que influyen en su velocidad, los avances han sido evidentes en todos los niveles. Sin embargo, persisten áreas donde la integración de la teoría con ejemplos prácticos y aplicaciones industriales sigue siendo un desafío.
- Obstáculos superados: Se ha observado una mejora en la capacidad de los estudiantes para conectar conceptos teóricos con sus implicaciones prácticas. Por ejemplo, han superado dificultades iniciales relacionadas con la visualización de estructuras cristalinas en tres dimensiones, la relación entre estructura atómica y propiedades mecánicas, y la asociación entre energía térmica y movimiento atómico. Estos avances han permitido a la mayoría de los estudiantes alcanzar niveles intermedios y avanzados en la comprensión de los conceptos.
- Áreas de mejora: Aunque el progreso ha sido sustancial, se identifican áreas donde es necesario un enfoque más profundo. En particular, la aplicación práctica de los conceptos estudiados, especialmente en contextos industriales, representa un reto para muchos estudiantes.



También se requiere reforzar la conexión entre la teoría y los ejemplos prácticos en temas como los mecanismos de difusión y el diseño de materiales basados en las propiedades de los átomos.

En conclusión, el análisis de las escaleras de aprendizaje evidencia un avance significativo en el dominio conceptual de los temas tratados. No obstante, para lograr una comprensión más completa, es necesario fortalecer la aplicación de los conceptos en escenarios reales y fomentar un enfoque integrado que vincule la teoría con la práctica industrial.

Tabla 2. Evolución del aprendizaje por alumno acorde a las respuestas a los cuestionarios inicial (I), final (F) y progreso (P)

Alumno	P1			P2			P3			P4		
	I	F	P	I	F	P	I	F	P	I	F	P
1	2	2	=	2	2	=	1	2	↑	1	2	↑
2	1	2	↑	2	3	↑	2	3	↑	1	2	↑
3	2	3	↑	1	2	↑	2	3	↑	1	3	↑↑
4	2	2	=	1	3	↑↑	1	2	↑	1	3	↑↑
5	1	2	↑	1	2	↑	1	3	↑↑	1	1	=
6	1	1	=	1	2	↑	2	2	=	2	2	=
7	2	2	=	1	1	=	1	2	↑	1	2	↑
8	2	3	↑	2	2	=	1	2	↑	1	2	↑
9	2	3	↑	1	2	↑	1	3	↑↑	1	2	↑
10	1	3	↑↑	1	4	↑↑↑	1	4	↑↑↑	1	3	↑↑
11	1	2	↑	1	2	↑	1	3	↑↑	1	3	↑↑
12	2	3	↑	2	4	↑↑	2	4	↑↑	2	4	↑↑

La figura 4 presenta un análisis de la evolución de los estudiantes tras la implementación del CIMA, comparando su desempeño inicial y final en el cuestionario, así como el progreso alcanzado. Este progreso refleja los avances logrados en relación con los niveles establecidos, permitiendo evaluar el impacto de la intervención en la comprensión del tema.

El análisis evidencia que, aunque varios estudiantes lograron avances significativos al pasar de niveles básicos a más avanzados, otros permanecieron en los mismos niveles. En términos generales, el CIMA tuvo un efecto positivo en muchos casos, aunque un grupo considerable de



estudiantes mostró un progreso limitado. Esto podría indicar que algunos conceptos resultaron especialmente complejos o que el cuestionario no estaba completamente alineado con el nivel previo de los estudiantes.

Además, los resultados sugieren que ciertos estudiantes enfrentaron dificultades para aplicar los conceptos estudiados, particularmente aquellos que requerían un análisis más detallado sobre las implicaciones de las imperfecciones cristalinas. Factores como una motivación reducida, una base conceptual insuficiente y la falta de ejemplos prácticos relevantes podrían haber contribuido a esta falta de avance en algunos casos.

Evaluación del CIMA

Aspectos a mantener o cambiar en un futuro CIMA

De cara a futuras implementaciones del CIMA en la asignatura de Ingeniería de Materiales, es fundamental conservar aquellos elementos que han demostrado ser efectivos, al tiempo que se introducen mejoras para abordar las áreas identificadas como desafiantes.

- Aspectos a mantener:
 - Metodología participativa: Las actividades de contraste y los espacios para la reflexión activa han resultado ser herramientas clave para mejorar la comprensión y el interés de los estudiantes.
 - Secuencia estructurada de las sesiones: El esquema basado en repasos iniciales, problemas clave y síntesis final proporciona una estructura clara y eficiente que facilita el aprendizaje progresivo.
 - Uso de recursos visuales y dinámicos: La inclusión de vídeos explicativos y materiales visuales ha sido muy valorada por los estudiantes para comprender conceptos complejos como la difusión y las imperfecciones cristalinas.
- Aspectos a mejorar o cambiar:
 - Mayor personalización de las actividades: Se recomienda diseñar tareas adaptadas a los diferentes niveles de comprensión de los estudiantes para garantizar que todos avancen a su ritmo.
 - Refuerzo de ejemplos prácticos: Integrar más ejemplos relacionados con aplicaciones industriales reales, que permitan a los estudiantes conectar la teoría con su futura práctica profesional.
 - Gestión del tiempo: Ajustar la duración de las actividades para garantizar que se cubran todos los objetivos sin apresurar los temas más complejos.



Principios Docentes para el futuro

A partir de la experiencia acumulada en la implementación del CIMA, los siguientes principios guiarán la docencia en el futuro:

Centrada en el estudiante: Colocar al estudiante como protagonista del proceso de aprendizaje, promoviendo su participación activa y la construcción autónoma del conocimiento.

Enseñanza conectada a la práctica: Diseñar actividades y contenidos que reflejen situaciones y desafíos reales del ámbito industrial, facilitando así la transferencia del conocimiento a contextos prácticos.

Fomento del aprendizaje colaborativo: Establecer dinámicas de trabajo en equipo para que los estudiantes compartan ideas, resuelvan problemas de forma conjunta y desarrollen habilidades interpersonales esenciales.

Evaluación continua y formativa: Implementar herramientas de evaluación que permitan identificar las fortalezas y debilidades de los estudiantes a lo largo del proceso, ofreciendo retroalimentación inmediata.

Adaptación y flexibilidad: Reconocer las necesidades y los ritmos de aprendizaje diversos, ajustando la metodología y los recursos para garantizar una experiencia inclusiva y efectiva.

Referencias bibliográficas

- Bain, K. (2005). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Publicaciones Universidad de Valencia.
- Finkel, D. (2008). *Dar clase con la boca cerrada*. Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Rodríguez Albelo, L. M. (2024). Aprendiendo los procesos de fabricación por deformación plástica con la aplicación de los Ciclos de Mejora en el Aula-CIMA. En R. Porlán, A.F. Villarejo-Ramos, G Delord y B. Blandón-González (Coords.), *Ciclos de mejora en el aula*. Año 2024. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla (pp. 845-860). Editorial de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447227631.059>
- Porlán, R. (Coord.) (2017). *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla*. Ediciones Morata.
- Villarejo-Ramos, A. F. (2020). Descubriendo el valor al cliente en empresas de servicios desde un modelo de aprendizaje basado en problemas. En R. Porlán y E. Navarro (Coords.), *Ciclos de mejora en el aula*. Año 2019. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla (pp. 1678-1704). Editorial de la Universidad de Sevilla. <http://dx.doi.org/10.12795/9788447221912.073>

