

Proyecto de innovación docente en la asignatura de “Química de los materiales” en el grado de ingeniería civil

An innovative proposal to teach the subject “Chemistry of Materials” in the civil engineering degree

INGENIERÍAS

Petr Urban

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2106-5378>

Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte

Correo: purban@us.es

Resumen. Se realizó un ciclo de mejora en el aula en la asignatura obligatoria Química de los Materiales que se imparte en el grado de ingeniería civil. La metodología llevada a cabo consiste en la incorporación de actividades de contraste en el bloque V (Propiedades de los materiales) del temario. Los resultados reflejan un desarrollo en el aprendizaje de los alumnos, así como una valoración bastante positiva de ellos sobre esta metodología innovadora que se ha llevado a cabo, con una valoración media de 7.8 (sobre 10).

Abstract. A cycle of improvement was carried out in the classroom in the compulsory subject “Chemistry of Materials” that is taught in the civil engineering degree. The methodology carried out consists of the incorporation of contrast activities in block V (Properties of materials) of the syllabus. The results reflect a development in the learning of the students, as well as a fairly positive assessment of them on this innovative methodology that has been carried out, with a 7.8 average rating (out of 10).

Palabras clave. Química de los materiales, Grado en ingeniería civil, Docencia universitaria, Desarrollo profesional docente, Propiedades de los materiales.

Keywords. Chemistry of materials, Civil engineering degree, University lecturing, University teaching experimentation, Properties of materials.

Breve descripción del contexto

La asignatura en la que se ha realizado este Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) es Química de los Materiales del primer curso del Grado en Ingeniería Civil aplicado durante el segundo cuatrimestre del año 2020/2021. La asignatura es anual y se divide en dos cuatrimestres (Figura 1). Primer cuatrimestre (química de los materiales) con 2 bloques y 4 temas (responsabilidad del departamento de Ingeniería Química y Ambiental) y segundo cuatrimestre (ciencia de los materiales) con 3 bloques y 10 temas (responsabilidad del departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte). Cada cuatrimestre tiene peso de 3 créditos ECTS.

El sistema didáctico del segundo cuatrimestre de la asignatura es mi responsabilidad y tengo la total libertad en elegir el modelo didáctico adecuado para el correcto desarrollo de las clases.

Este año 2020/2021 la asignatura cuenta con 94 alumnos matriculados. Sin embargo, durante el segundo cuatrimestre la media de asistencia a las clases de teoría (la asistencia no es obliga-

toria) fue inferior, alrededor de unos 25 alumnos. Es de destacar que, al tratarse de una asignatura anual y del primer curso, muchos alumnos abandonan la asignatura, o directamente la carrera universitaria, durante el primer cuatrimestre.

Por último, destacar, que el segundo cuatrimestre tiene en total 25 h de teoría en el aula y 5 h en las 4 prácticas en el laboratorio. La mejora en el modelo metodológico se va a aplicar solo al último bloque V de la teoría en el aula, cuya duración es de 8:20 horas (500 min).

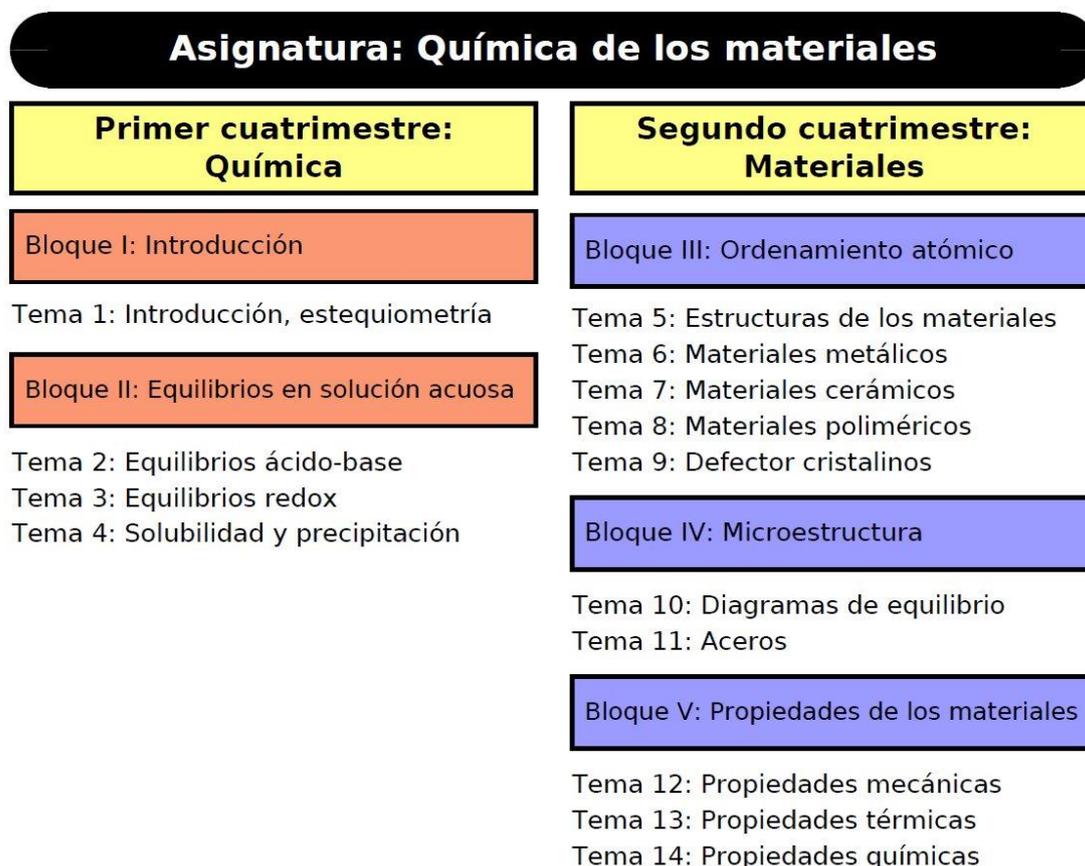


Figura 1. Mapa general del contenido de la asignatura de Química de los materiales

Metodología habitual y secuencia de actividades

A continuación, se describe brevemente la metodología aplicada a esta asignatura en los años anteriores al CIMA. En la Figura 2 está dibujado el esquema del modelo metodológico aplicado para el bloque V de la asignatura. Las clases en el aula tenían solo 2 partes. Unos 80% del tiempo de las clases pertenecía a la explicación de la teoría y unos 20% a la resolución de varios problemas. Ambas partes eran puramente clases magistrales. A parte del tiempo en el aula, los alumnos tenían que asistir a una práctica en el laboratorio que está relacionada con el bloque V. Todas las partes del modelo metodológico están explicadas con más detalles en la Tabla 1.

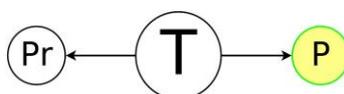


Figura 2. Modelo metodológico habitual del bloque V. Leyenda: T: Teoría; Pr: Problemas; P: Práctica

Tabla 1. Secuencia de actividades en el modelo metodológico habitual del bloque V

1	T	Teoría	Aula	400 min	80%
2	Pr	Resolución de problemas	Aula	100 min	20%
3	P	Práctica en el laboratorio	Laboratorio	75 min	100%
<i>Total: 500 min (8:20) en el aula; 75 min en el laboratorio.</i>					

Diseño previo del CIMA

El segundo cuatrimestre está dividido en tres bloques (Figura 1). El bloque elegido para el CIMA es el bloque V (Figura 3). En este bloque se relacionan las propiedades mecánicas, térmicas y químicas entre sí y con los temas de los bloques anteriores que los alumnos han aprendido en las clases anteriores.

La duración del CIMA ha sido de 8:20 horas (500 min) presenciales en el aula divididas entre diferentes actividades como se puede ver en la Figura 4. Fuera del horario del CIMA los alumnos han asistido a una práctica de “Dureza y endurecimiento de materiales metálicos” del tema “Propiedades mecánicas” de duración de 1:15 horas.

Contenidos y Evaluación

En el presente CIMA no se han modificado ni los contenidos ni la evaluación. Los contenidos del bloque V se pueden observar en la Figura 3. Todo el contenido, antes del CIMA, se estaba impartiendo de forma magistral. En el CIMA se impartió el mismo contenido, pero distribuido entre clases magistrales, actividades de contraste (Finkel, 2008), normas técnicas, artículos científicos, prácticas, problemas, recursos audiovisuales y otras actividades (Bain, 2004).

La evaluación de la asignatura no sufrió cambios antes y después del CIMA. Se evaluó teoría por vía del test y examen de resolución de problemas. En algunas actividades ha sido obligatoria la asistencia como es el caso de las prácticas en el laboratorio. Y en algunas actividades ha sido obligatoria la entrega de un trabajo como es el caso de la actividad en casa o la entrega de un informe de las prácticas del laboratorio.

Metodología posible y secuencia de actividades

La diferencia entre el modelo metodológico habitual y el posible es que el modelo habitual se repite en cada tema. Por lo contrario, el modelo posible tiene en cuenta el bloque entero y a lo largo del segundo cuatrimestre se repetiría (en el futuro) solo 3 veces en los 3 bloques con algunos cambios menores según las características específicas de cada uno de los 3 bloques.

En la Figura 3 está el mapa de contenidos del bloque V (Propiedades de los materiales) indicando las partes más o menos importantes, las relaciones entre diferentes contenidos y las preguntas principales que le pueden surgir a los alumnos antes de empezar a estudiar este bloque. Estas preguntas se utilizarán para elaborar el cuestionario inicial-final.

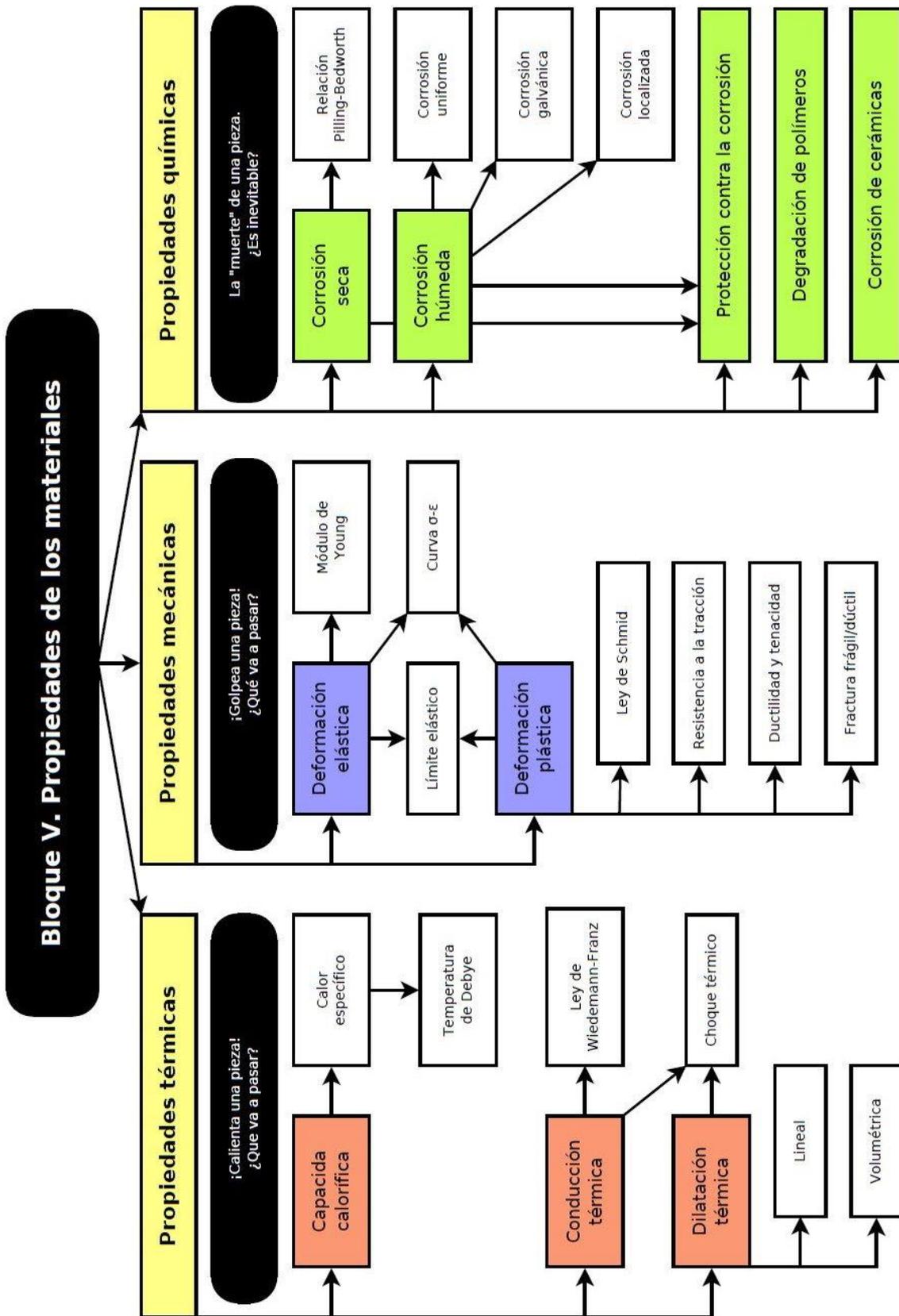


Figura 3. Mapa de contenidos del bloque V: Propiedades de los materiales

Por último, en la Tabla 2 se observa la secuencia de actividades (Porlán y Navarro, 2018) en el modelo metodológico posible del bloque V. Las actividades están ordenadas cronológicamente describiendo cada actividad con más detalles.

Tabla 2. Secuencia de actividades en el modelo metodológico ideal y posible del bloque V

Nº	Actividad		Lugar	Tiempo	
	Abr.	Nombre		min	%
1	CI	Cuestionario Inicial	Aula	10 min	2%
<i>Resumen:</i> Rellenar en clase un cuestionario inicial.					
<i>Tipo:</i> Clase Magistral.					
<i>Contenido:</i> 3 preguntas abiertas e indirectas sobre los 3 temas del bloque V de la asignatura.					
<i>Recursos:</i> Página web https://www.socrative.com/ .					
2	I	Introducción	Aula	20 min	4%
<i>Resumen:</i> Resumiendo el bloque V y relacionándolo con los bloques III y IV.					
<i>Tipo:</i> Clase magistral.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint.					
3	IAeC	Introducción para la Actividad en Casa	Aula	10 min	2%
<i>Resumen:</i> Explicando a los estudiantes el contenido de la actividad en casa (actividad 4).					
<i>Tipo:</i> Clase magistral.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint e internet.					
4	AeC	Actividad en Casa	Casa	30 min	50%
<i>Resumen:</i> Relacionar una pieza con sus propiedades.					
<i>Tipo:</i> Estudiantes trabajan de forma autónoma en casa.					
<i>Contenido:</i> Cada estudiante tiene que buscar en internet cuales son las propiedades de una pieza real y tiene que entregar un informe. En el informe tiene que estar una descripción de la pieza y explicación de las propiedades requeridas, incluyendo la fuente de información. Los resultados más interesantes se hablarán en clase en la actividad 12.					
<i>Recursos:</i> Hacer búsqueda en internet.					
5	IVR	Introducción al recurso de Realidad Virtual	Aula	10 min	2%
<i>Resumen:</i> Explicando a los estudiantes el contenido de la actividad en casa (actividad 6).					
<i>Tipo:</i> Clase magistral.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint e internet.					
6	VR	Realidad Virtual en casa	Casa	opcional	
<i>Resumen:</i> Familiarización con el ámbito de la realidad virtual.					
<i>Tipo:</i> Estudiantes trabajan de forma autónoma en casa.					
<i>Contenido:</i> Visitar el laboratorio virtual del departamento de Ingeniería y ciencia de los materiales y ver los recursos interactivos relacionados con las prácticas.					
<i>Recursos:</i> Hacer uso de un navegador web en la URL https://ra.sav.us.es/rv/imagen/lvm/					
7	T	Teoría	Aula	300 min	60%
<i>Resumen:</i> Clases de teoría del bloque V (Cuevas, Montes y Cintas, 2014).					
<i>Tipo:</i> Clase magistral.					
<i>Contenido:</i> Propiedades mecánicas, térmicas y químicas.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint.					
8	N	Norma para la práctica	Aula	10 min	2%
<i>Resumen:</i> Familiarización con normas técnicas (UNE-EN ISO 6508-1, 2017).					
<i>Tipo:</i> Clase magistral.					
<i>Contenido:</i> Ver todas las partes que debería tener una norma técnica, donde buscar las normas, tipología e importancia para la investigación e industria. Como ejemplo se utilizará la norma Española					

UNE-EN ISO 6508-1 (2017) Materiales metálicos, Ensayo de dureza Rockwell, Parte 1: Método de ensayo.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint, búsqueda en internet y norma en pdf.					
9	A	Artículo científico relacionado con la práctica en el laboratorio	Aula	10 min	2%
<i>Resumen:</i> Familiarización con artículos científicos (Urban, Ternero, Caballero, Nandyala, Montes y Cuevas, 2019).					
<i>Tipo:</i> Clase magistral.					
<i>Contenido:</i> Ver todas las partes que debería tener un artículo científico, donde buscar los artículos, tipología e importancia para la investigación e industria. Como ejemplo se utilizará el artículo Amorphous Al-Ti powders prepared by mechanical alloying and consolidated by electrical resistance sintering.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint y búsqueda en internet.					
10	Pr	Resolución de Problemas	Aula	50 min	10%
<i>Resumen:</i> Resolución de varios problemas relacionados con el bloque V (Pérez, Arévalo y Montealegre, 2018).					
<i>Tipo:</i> Actividad de contraste.					
<i>Contenido:</i> Los estudiantes intentan conjuntamente resolver los problemas propuestos basándose en los conocimientos adquiridos en la teoría del bloque V. Profesor tiene función de guía o acompañante.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint y pizarra.					
11	PrP	Resolución de Problemas para la Práctica en el laboratorio	Aula	20 min	4%
<i>Resumen:</i> Resolución de un problema relacionado con la práctica de dureza de materiales metálicos (Montes, Cuevas y Cintas, 2014).					
<i>Tipo:</i> Actividad de contraste.					
<i>Contenido:</i> Los estudiantes intentan conjuntamente resolver un problema propuestos basándose en los conocimientos adquiridos en la teoría en el tema “Propiedades mecánicas”. Profesor tiene función de guía o acompañante.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint y pizarra.					
12	SAeC	Síntesis de la Actividad en Casa	Aula	10 min	2%
<i>Resumen:</i> Relacionar una pieza con sus propiedades.					
<i>Tipo:</i> Clase magistral.					
<i>Contenido:</i> El profesor expone los resultados de los trabajos más interesantes y, posteriormente, confronta los resultados de una pieza resal con los resultados obtenidos por el software informático CES EduPack en la actividad 13.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint.					
13	CES	CES EduPack	Aula	20 min	4%
<i>Resumen:</i> Determinar propiedades de una pieza con CES EduPack					
<i>Tipo:</i> Clase magistral.					
<i>Contenido:</i> El profesor enseña a los estudiantes el software informático CES EduPack para la selección de materiales y procesos de fabricación de una pieza real.					
<i>Recursos:</i> Uso del software informático CES EduPack.					
14	CF	Cuestionario Final	Aula	10 min	2%
<i>Resumen:</i> Rellenar en clase un cuestionario final.					
<i>Tipo:</i> Clase Magistral.					
<i>Contenido:</i> 3 preguntas abiertas e indirectas sobre los 3 temas del bloque V de la asignatura.					
<i>Recursos:</i> Página web https://www.socrative.com/ .					
15	S	Síntesis	Aula	20 min	4%
<i>Resumen</i> del bloque V.					
<i>Tipo:</i> Actividad de contraste.					
<i>Contenido:</i> Los estudiantes intentan conjuntamente resumir los conocimientos adquiridos en el bloque V, implicando todos los tipos de docencia (teoría, actividad en casa, recursos virtuales, problemas					

resueltos, prácticas, normativas y artículos científicos). Finalmente tienen que sacar conclusiones y exponer ejemplos de uso en la industria. Profesor tiene función de guía o acompañante.					
<i>Recursos:</i> Presentación con PowerPoint.					
16	P	Práctica en el laboratorio	Laboratorio	75 min	100%
<i>Resumen:</i> Práctica de dureza y endurecimiento de materiales metálicos.					
<i>Tipo:</i> Actividad de contraste.					
<i>Contenido:</i> Los estudiantes dirigen los ensayos según los conocimientos adquiridos en clase. Profesor tiene función de guía o acompañante. 1) Endurecimiento mediante enfriamiento rápido: Dureza Rockwell HRC de 3 aceros aplicando a cada uno diferente velocidad de enfriamiento. Acero recocido (enfriado en el horno), acero normalizado (enfriado al aire) y acero templado (enfriado en el agua o aceite). 2) Endurecimiento por deformación: Dureza Rockwell HRF de una lámina de cobre con diferentes porcentajes de deformación plástica. El cobre se deformará mediante una laminadora a temperatura ambiente (deformación en frío). 3) Endurecimiento por precipitación: Dureza HRF del duraluminio (aleación de Al-4Cu). Previamente se explica la evolución de la microestructura a lo largo del proceso de precipitación de partículas muy pequeñas de la fase theta (θ es solución sólida de ~33%at. de Cu en Al) en la matriz de la fase alfa (α es solución sólida de Cu en Al).					
<i>Recursos:</i> 3 probetas de aceros (acero recocido, normalizado y templado), una lámina de cobre recocido y 2 probetas de aluminio (T4: Tratamiento térmico de solución, temple, y maduración natural y T6: Tratamiento térmico de solución, temple y maduración artificial)					
17	IP	Informe de la Práctica	Casa	30 min	50%
<i>Resumen:</i> Diseño del informe de la práctica de Dureza y endurecimiento de materiales metálicos.					
<i>Tipo:</i> Estudiantes trabajan de forma autónoma en casa.					
<i>Contenido:</i> Comparar los valores de dureza de los aceros recocido, normalizado y templado. Comparar la dureza de aluminio T4 y T6. Hacer gráfico de dureza de una plancha de cobre frente al grado de endurecimiento.					
<i>Recursos:</i> Manejo de programas informáticos como hoja de cálculo (Calc de LibreOffice, Excel de Microsoft Office, etc.) y procesador de texto (Writer de LibreOffice, Word de Microsoft Office, etc.).					
<i>Total:</i> 500 min (8:20) en el aula; 60 min en casa; 75 min en el laboratorio.					

Aplicación del CIMA

A continuación, se procede a la descripción, análisis y valoración de las sensaciones percibidas durante la implantación del CIMA. Se detallarán las sesiones más importantes del CIMA, indicando las ventajas, inconvenientes, feedback de los alumnos y propuestas de mejora para futuros CIMAs.

Cuestionario inicial (actividad 1) y final (14): La participación voluntaria ha sido relativamente elevada. Entre los alumnos en aula y los de casa participaron en total 15 alumnos en ambos cuestionarios como se resume en el apartado “Evaluación del CIMA”.

Introducción (2), Teoría (7), Normas (8), Artículos (9): Todas las clases magistrales han transcurrido con normalidad.

Actividad en casa (3,4,12,13): En la introducción (3) se ha explicado la actividad tanto en el aula como por email indicando que esta actividad es obligatoria y no evaluable. La participación ha sido alta y en la parte de síntesis (12) se han resumido algunas ideas interesantes de algunos alumnos. Finalmente, se ha explicado brevemente un software informático CES Edu-Pack (13) para diseñar materiales y procesos para la fabricación de productos utilizando como ejemplo la selección de un material para la fabricación de carcasas de portátiles.

Recurso de realidad virtual (5,6): Tengo muy buena sensación después de impartir la clase magistral (5) sobre nuestro laboratorio en formato de realidad virtual. Después de esta actividad he preguntado por el chat y, sorprendentemente, muchos alumnos me han respondido, que les

han gustado mucho esta parte de la clase. Probablemente, habrá que orientar las clases más hacia a las TICs.

Resolución de problemas (10,11): Esta actividad de contraste es muy complicada de ejecutar en el modo de semipresencialidad. No se escuchaban los alumnos en el aula con los conectados online. El profesor tenía que repetir todo lo que estaban diciendo los alumnos para que se enteren los de otro grupo. Al principio de la clase no había voluntarios. El profesor tuvo que ir eligiendo a los alumnos para que participasen y empezasen a expresar sus opiniones. Sin embargo, como avanzaba el tiempo de la actividad, han aparecido unos 5 alumnos que empezaron a opinar libremente. Creo que acostumbrando a los alumnos a este tipo de actividades la clase podría proceder con más fluidez.

Síntesis (15): En esta actividad de contraste han aparecido algunos voluntarios desde el principio para participar en el resumen de todos los temas del bloque V. Los alumnos ya estaban más acostumbrados a este tipo de actividad y estaban más relajados y expresando sus opiniones con mayor libertad.

En general se puede observar que mientras más actividades de contraste se hacen en clase hay mayor participación de los alumnos y mejor colaboración profesor-estudiante. Creo que es necesario ir introduciendo más actividades de contraste en más asignaturas para que los estudiantes perciban como esta docencia como la normal. Incluso, con el tiempo, se podrían convertir las actividades de contraste en una docencia tradicional junto con las clases magistrales.

Una de las mayores dificultades para el profesor es la organización de tiempos. En la mayoría de las actividades, el tiempo es muy ajustado. En mi caso, la mejor parte de la docencia para poder ajustar el tiempo total de la docencia ha sido la parte de solución de problemas. Según la necesidad se pueden añadir o eliminar problemas para poder cumplir con los tiempos asignados en otras actividades.

Por último, las clases en modo semipresencial desfavorece mucho la aplicación de actividades de contraste y las actividades en grupos. Por esta razón, no se han incorporado este año en la docencia actividades en grupos.

Evaluación del CIMA

Para evaluar la mejora del aprendizaje de los alumnos durante el CIMA se ha aplicado el método de cuestionario inicial-final. Antes y después del CIMA se plantearon a los alumnos 3 preguntas abiertas, indirectas y no evaluables para conseguir, de estas pocas preguntas sencillas la mayor cantidad de información posible para su posterior evaluación. Las tres preguntas han sido las siguientes:

1. ¡Golpea una pieza! ¿Qué va a pasar?
2. ¿Calienta una pieza! ¿Qué va a pasar?
3. La “muerte” de una pieza. ¿Es inevitable? Explique.

Con la pregunta 1 se pretende descubrir que conocimientos tienen los alumnos sobre el tema de propiedades mecánicas, con la 2 sobre propiedades térmicas y con la 3 sobre propiedades químicas.

La primera evaluación preliminar de los resultados de los cuestionarios se puede observar en la Figura 5, en la escalera de aprendizaje (Porlán, 2017). La evolución del aprendizaje de los alumnos a lo largo del bloque V de la asignatura, según las tres preguntas, es claramente positiva. En todas las preguntas antes del CIMA ningún alumno tenía conocimientos sobresalientes (nivel 3) sobre las propiedades de los materiales, e incluso, había alumnos que no tenían ningún tipo de conocimientos o, más bien, sus conocimientos eran erróneos. Sin embargo, después del CIMA, el conjunto de los alumnos ha mejorado en todos los niveles, e incluso, entre 20 y 26.7% de los alumnos participantes han conseguido llegar al nivel 3. Para aclarar el contexto de la escalera de aprendizaje hay que mencionar, que esta asignatura es anual del primer curso y que

no han participado los alumnos con poco interés de estudiar, ya que, no han participado los alumnos que abandonaron los estudios universitarios a lo largo del curso académico y los que abandonaron la asignatura este año para intentar aprobarla en el segundo curso. Por lo cual, los alumnos participantes han sido los que han tenido interés de aprender y aprobar la asignatura.

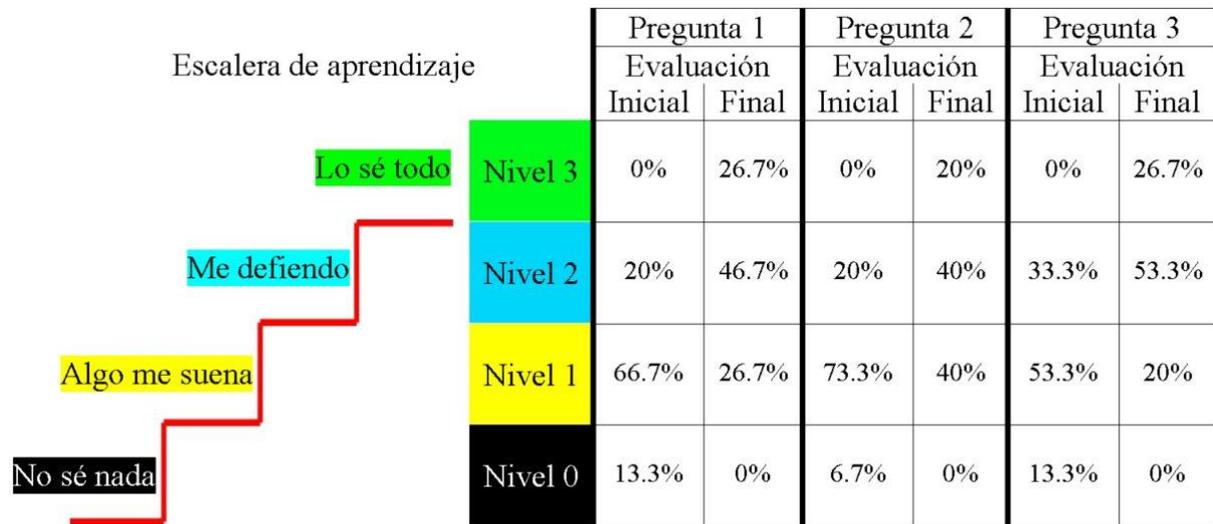


Figura 5. Escalera de aprendizaje

Por otro lado, en la escalera de aprendizaje, no se refleja la información de mejoramiento o empeoramiento de todos los alumnos por separado. Para distinguir y observar la evolución de los diferentes alumnos se han creado 3 tablas con los resultados del cuestionario inicial (Figura 6), cuestionario final (Figura 7) y con la diferencia entre el cuestionario inicial y final (Figura 8). En total se han comparado 15 alumnos. En la Figura 6 (cuestionario inicial) se observa que no hay alumnos con nivel de conocimientos sobresalientes de nivel 3. La mayoría tenía conocimientos de nivel 1 y algunos pocos de nivel 0. En la Figura 7 (cuestionario final) no hay alumnos con nivel 0 y hay bastantes alumnos con el nivel más alto, nivel 3. Por último, en la Figura 8 (Diferencia entre cuestionario inicial y final) hay más de la mitad de los alumnos que han mejorado, hay también pocos alumnos que han mejorado bastante, pero lo preocupante es que había de los 45 resultados (15 alumnos por 3 preguntas) 13 resultados con ningún tipo de mejora. Este dato es muy preocupante, porque lo que se pretende en la enseñanza en general es que todos los alumnos en todos los temas demuestren algún tipo de avance. Una posible respuesta a este fenómeno podría ser el hecho de que muchos alumnos a la hora de prepararse para un examen no estudian todos los temas por falta de tiempo. Por lo cual hay temas en los cuales algunos alumnos conscientemente no avanzan para avanzar más en otros temas. La solución es interrelacionar los diferentes temas entre sí aún más y destacar aún más la importancia de todos los temas para las futuras profesiones de los ingenieros.

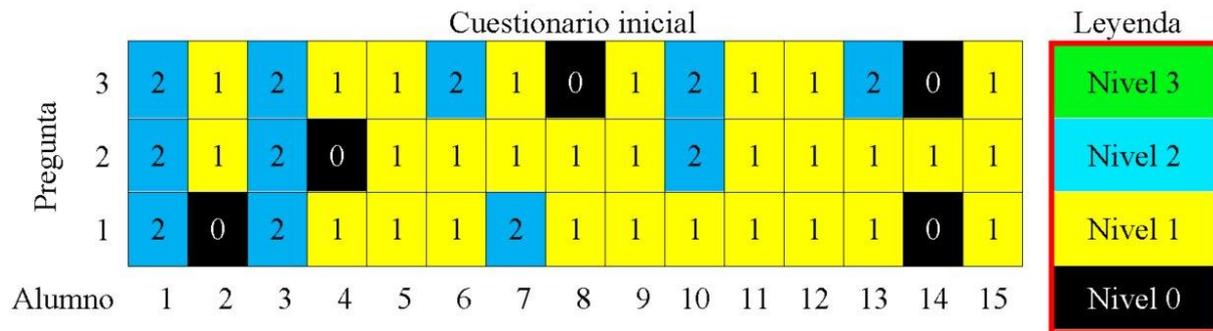


Figura 6. Mapa de nivel con las respuestas de los alumnos al cuestionario inicial

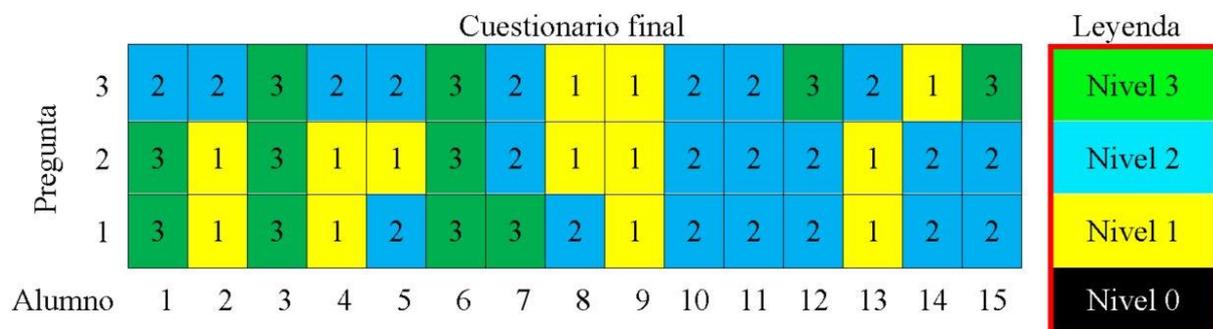


Figura 7. Mapa de nivel con las respuestas de los alumnos al cuestionario final

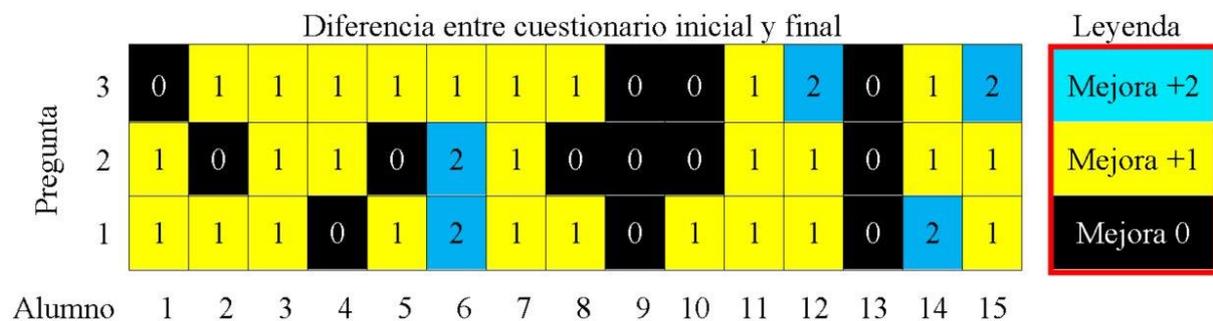


Figura 8. Mapa de nivel con la variación de los niveles alcanzados por las respuestas de los alumnos entre los cuestionarios inicial y final

Los principios didácticos que guiaron mi docencia durante el CIMA fueron la docencia cercana a la comprensión de los estudiantes teniendo en cuenta su nivel inicial de conocimientos, la solución de problemas orientados a casos de la industria aprovechando la docencia innovadora de actividades de contraste y empezar cada tema con una pregunta global e intrigante para iniciar el interés de los estudiantes por el tema en cuestión. Todo lo anterior englobado dentro de una estructura clara y bien organizada utilizando el sistema del mapa de contenidos (Figura 3), esquema del modelo metodológico (Figura 4) y la secuencia de actividades (Tabla 2).

Por último, remarcar que, aunque la aplicación del CIMA fue del bloque V (Propiedades de los materiales), con pocas modificaciones se podría aplicar fácilmente sobre otros bloques de la asignatura o incluso en otras asignaturas similares de otros grados de ingeniería.

Referencias bibliográficas

- Bain, K. (2004). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Cuevas, F.G., Montes, J.M. y Cintas, J. (2014). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Finkel, D. (2008). *Dar clase con la boca cerrada*. Valencia: Universidad de Valencia.
- Montes, J.M., Cuevas, F.G. y Cintas, J. (2014). *Solucionario de ciencia e ingeniería de los materiales*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Pérez, E.M., Arévalo, C. y Montealegre, I. (2018). *Colección de problemas resueltos de ciencia de materiales aeroespaciales*. Editorial Universidad de Sevilla.
- Porlán, R. (2017). *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla*. Madrid: Ediciones Morata.
- Porlán, R. y Navarro, E. (2018). *Jornadas de formación e innovación docente del profesorado*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Porlán, R. y Navarro, E. (2019). *Ciclos de mejora en el aula. Año 2019. Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- UNE-EN ISO 6508-1 (2017). *Materiales metálicos, Ensayos de dureza Rockwell, Parte 1: Método de ensayo*, <https://bit.ly/3xrYXNB>
- Urban, P., Ternero, F., Caballero, E.S., Nandyala, S., Montes, J.M. y Cuevas, F.G. (2019). Amorphous Al-Ti Powders Prepared by Mechanical Alloying and Consolidated by Electrical Resistance Sintering. *Metals*, 9(11), 1140-1153, <https://doi.org/10.3390/met9111140>