

# Ciclo de Mejora en el Aula basado en el aprendizaje en espiral aplicado al acero y sus aleaciones

## A Classroom Improvement Cycle using the spiral learning on steels and their alloys

Ingenierías

FRANCISCO JOSÉ GARCÍA GARCÍA

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5384-8249>

Universidad de Sevilla. Dpto. Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte  
[fgarcia49@us.es](mailto:fgarcia49@us.es)

**Resumen.** La asignatura Ingeniería de materiales II se imparte en el primer cuatrimestre del tercer curso del Grado en Ingeniería Mecánica y de los Dobles Grados en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto e Ingeniería Mecánica y en Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica. El presente Ciclo de Mejora en el Aula (CIMA) trabaja los contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales de la primera parte del bloque Aleaciones Metálicas. Esta parte versa sobre aceros al carbono e inoxidables, aceros ambientales, de baja aleación y otros tipos de aceros. También se establecerán relaciones de semejanza y diferenciación existentes con el resto de familias de materiales, con el fin que los alumnos se familiaricen con conceptos como criterios para la selección de materiales o comportamiento en servicio. El CIMA se centra en el aprendizaje en espiral, donde es el propio alumno quien establece un auto-razonamiento crítico que le permite encontrar respuestas a los interrogantes que plantean los contenidos que se tratan. Con ello se busca que los alumnos sean capaces de resolver problemas a nivel académico y laboral.

Palabras claves: Aceros, materiales metálicos, grado en ingeniería mecánica, docencia universitaria, desarrollo profesional docente

**Abstract.** The subject, Materials Engineering II, is taught in the first quarter of the third year of the Degree on the Mechanical Engineering and the double Degrees on Mechanical Engineering and Industrial Design and Electrical Engineering and Mechanical Engineering. The current classroom improvement cycle applies conceptual, procedural and attitudinal contents from the first part of the block, entitled Metallic alloys. This part deals with carbon and stainless steels, self-weathering steels, low-alloy steels and other steel types. Further, a balance between similarity and differentiation will be established in comparison with other families of materials, aiming the students to familiarise with concepts such as criteria for materials selection or in-service performance. The improvement cycle focusses on the spiral learning, in which the student establishes his critical self-reasoning by answering the proposed questions according to the studied contents. This method pursues students to get empowered to solve future problems both in the academic and the industrial sectors.

Keywords: Steels, metallic materials, degree on mechanical engineering, university teaching, experimentation in university teaching

## Introducción

### *Descripción del contexto*

En esta experiencia docente se describe un CIMA (Delor, Hamed y otros, 2020) enmarcado dentro de la fase de permanencia (Red permanente de Formación e Innovación Docente -REFID) del Programa de Formación e Innovación Docente del Profesorado (FIDOP). La

asignatura en la que se aplicó el CIMA es la de *Ingeniería de Materiales II*, asignatura obligatoria del tercer curso del Grado en Ingeniería Mecánica y de los Dobles Grados en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto e Ingeniería Mecánica y en Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Mecánica. Se trata de una asignatura de seis créditos ECTS distribuida en dos sesiones de dos horas en dos días diferentes durante el primer cuatrimestre. La duración del CIMA fue de diez horas, divididas en cinco sesiones de dos horas cada una. Los temas para los cuales se aplicó fueron: *aceros al carbono e inoxidables, aceros ambientales de baja aleación y otros tipos de aceros*. La asignatura cuenta con 182 alumnos matriculados, divididos en dos grupos (108 y 74 alumnos respectivamente). Para el presente curso académico 2021/22, las clases teóricas son 100% presenciales. Por ello, este CIMA introduce un gran cambio con respecto del anterior, donde las clases eran 100% on-line, y es la realización de muchas de las actividades en grupos pequeños, para mejorar la interrelación de los alumnos. Durante la aplicación del CIMA la media de asistencia ronda los 45-50 alumnos (de 74), lo cual puede deberse a que las clases se imparten a última hora. Por último, destacar que los alumnos demuestran tener muy pocos conocimientos previos, lo que supone un hándicap a la hora de avanzar en los contenidos de la asignatura tal y como está previsto. Además, los alumnos poseen maneras de trabajar en clase muy dispares, como consecuencia seguramente de las diferentes titulaciones de las que provienen. Con estos dos aspectos en mente, cabe reseñar que hay un elevado porcentaje de alumnos que casi siempre se mantienen callados, y a los que de verdad cuesta hacerles participar al mismo nivel que al resto de compañeros.

## **Diseño previo del CIMA**

### *Mapa o red de contenidos y problemas/casos*

La asignatura se divide en cinco bloques, de entre los que destacan en cuanto a dificultad los bloques I (aleaciones metálicas) y V (comportamiento en servicio). Este CIMA se aplica dentro del bloque I, en concreto los temas que describen los distintos tipos de aceros. Además, durante este CIMA se introducirán conceptos del bloque V para que los alumnos vayan asimilando conceptos como (i) *criterios para selección de materiales*, (ii) *comportamiento en servicio: corrosión, termofluencia, fatiga, desgaste y fractura*, (iii) *inspección y ensayos de materiales* y (iv) *metodología del análisis de fallos de materiales en servicio*. Además, también se hará mención a las distintas propiedades, similitudes y diferencias que presentan los distintos aceros con respecto de otras familias de materiales metálicos, así como algunos materiales cerámicos, poliméricos y compuestos. El mapa conceptual viene representado en la Figura 1.

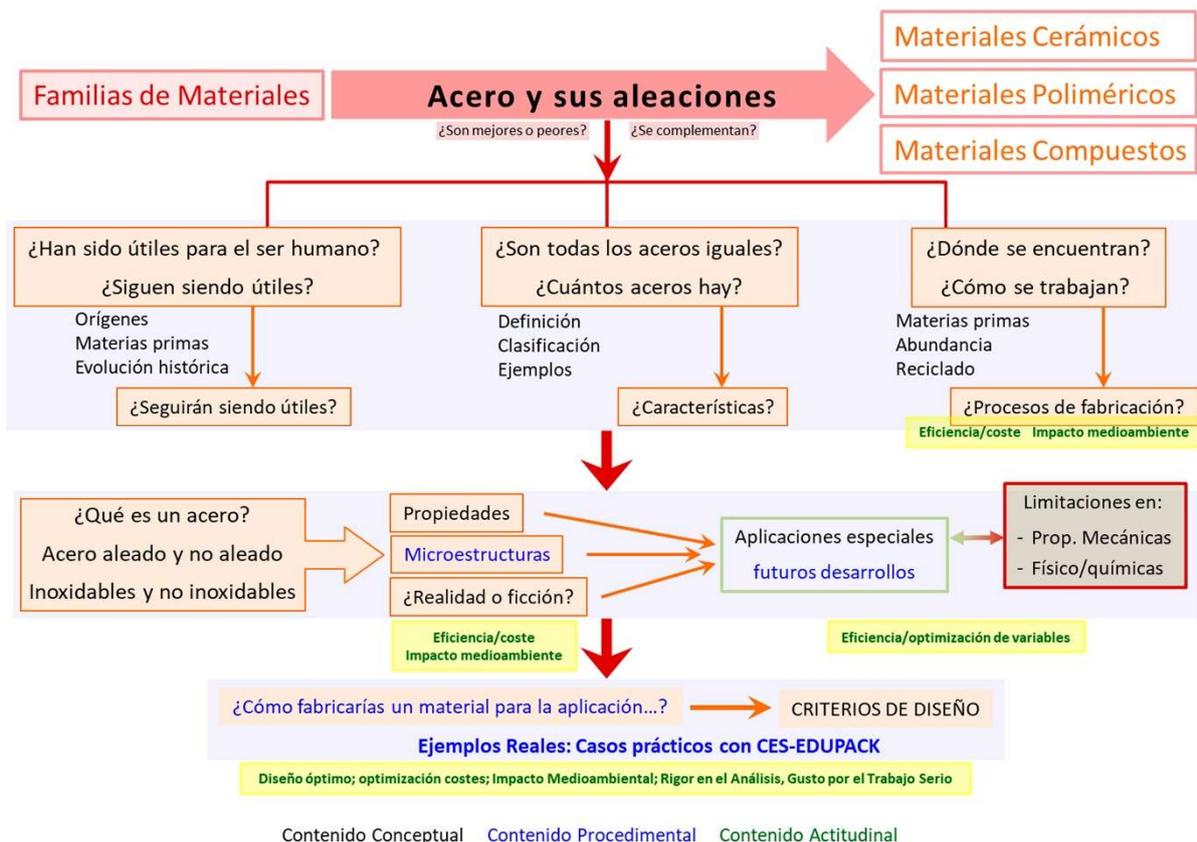


Figura 1. Mapa de contenidos y problemas del acero y sus aleaciones

Como se observa en el mapa conceptual mostrado en la Figura 1, se realizó un estudio previo de los contenidos a impartir, seleccionándolos por orden cronológico, para que el alumno tomara conciencia de como los aceros y sus aleaciones han evolucionado al tiempo que el ser humano. Los materiales metálicos en general, y los aceros en particular, al igual que el uso de los mismos, no son frutos puramente del azar. El ser humano ha necesitado tiempo para entender sus propiedades, para disponer de tecnología necesaria para fabricarlos, condicionándose así su desarrollo y explotación, y el cómo han dado respuestas en nuevas y novedosas aplicaciones. A mi juicio es importante una metodología en la que el alumno se haga las preguntas que el ser humano se viene haciendo desde la antigüedad hasta la actualidad, de manera que comprenda el razonamiento que conduce a la evolución de los mismos.

Antes de entrar de lleno con los contenidos propios del tema, se situarán los materiales metálicos en el conjunto de materiales (cerámicos, poliméricos y compuestos), además de con el resto de los materiales metálicos que se estudiarán en los temas posteriores. Estos materiales metálicos incluyen tanto a las fundiciones (aleaciones ferrosas) como a las aleaciones no ferrosas. Esto es algo que se hablará en cada sesión, pues si bien es cierto que un ingeniero mecánico trabaja principalmente con materiales metálicos, y en especial con los aceros, también lo es que el resto de materiales tienen su sitio, pues poseen un conjunto de propiedades que no poseen los aceros, complementándolos así en una gran variedad de aplicaciones. Es importante hacer ver a los alumnos que cada familia de materiales es única, diferente de las otras, y que son complementarias entre sí, pues todas las familias tienen grandes ventajas e importantes limitaciones. Sólo la solicitud de la pieza en una particular aplicación y el precio del material determinan que familia de material sea el más idóneo o menos malo. Por ello es que las preguntas situadas en la parte superior del mapa de contenidos persiguen la diferenciación de los

materiales cerámicos con respecto a los demás materiales que forman los distintos bloques de esta asignatura.

A partir de ahí, se introducirá al alumno en cómo el ser humano ha ido descubriendo y trabajando los diferentes materiales en aplicaciones cada vez más avanzadas, requiriendo piezas más y más complejas, hasta llegar a la actualidad. Para este desarrollo nos ayudaremos de *un ingeniero que viaja en el tiempo y va encontrándose con varios problemas a lo largo de la historia*. Le surgirán preguntas, tendrá dudas, pero las irá resolviendo con la ayuda inestimable de los alumnos y la tecnología disponible en esa época.

Posteriormente se desarrollarán los diferentes tipos principales de aceros que existen, desde los aceros más básicos (aquí se recordará de nuevo el diagrama de fase hierro-carbono), para ir añadiendo aceros cada vez más complejos que han ido evolucionando a lo largo del tiempo, hasta llegar finalmente a los aceros muy aleados, enfatizando cómo de relevantes son en distintas aplicaciones estructurales y funcionales. Entraremos de lleno en sus características y propiedades, ventajas y desventajas, avances en las materias primas, métodos de fabricación y en sus aplicaciones.

Finalmente, haremos un ejercicio de ciencia ficción, intentando concebir aplicaciones futuras en función de todo lo aprendido. Para ello, pensaremos en clase posibles aplicaciones de vanguardia en las que estos materiales no tienen rival, y haremos diseños de materiales usando un software ad-hoc para ello.

El tema sigue una filosofía de trabajo basada en el *modelo en espiral* (Finkel, 2008), y sigue un orden de preguntas que abarcan desde la definición y clasificación de los aceros, pasando por cómo lo que son determina sus diferentes propiedades, o como hemos aprendido a fabricarlos y trabajarlos, hasta llegar a los criterios de diseño que determinan su uso pasado, presente y futuro. Este método está inspirado en un ejemplo del libro *Lo que hacen los mejores profesores universitarios* (Bain, 2006), basado en el profesor Richard Feynman, quien a partir de ejemplos casi infantiles aumenta gradualmente en dificultad mediante ejemplos de la vida cotidiana.

A pesar de ser un bloque muy teórico, se busca conectar en paralelo contenidos conceptuales (i.e. definición y clasificación) con contenidos procedimentales (i.e. aprender cómo se obtienen y se trabajan). Así, las preguntas de nuestro guía van encaminadas en esta dirección. Contenidos actitudinales como *ahorro energético e impacto medioambiental* de una buena selección de estos materiales, o hacer trabajar rigurosamente para garantizar un óptimo comportamiento en servicio del material seleccionado, también tienen su importancia y se les hará hincapié. Los contenidos actitudinales están implícitos en muchos de los contenidos conceptuales y procedimentales que se tratan en el tema, siendo de extrema importancia en el mundo que vivimos, donde la emisión de gases con efecto invernadero, la contaminación, el crecimiento de la población y la disminución de recursos naturales, entre otros, requiere de una optimización en los materiales permanente y constante de cara a lograr tecnologías cada vez más limpias y eficientes.

### *Modelo metodológico posible*

Este modelo metodológico introduce varios cambios respecto de un modelo más tradicional basado en lecciones magistrales. El presente método metodológico, véase la Figura 2, parte de introducir una situación real en la vida cotidiana de un ingeniero y que puede tener una o varias soluciones. Por tanto, este método responde siempre a un bucle en el que hay un problema al que hay que darle solución entre todos (los alumnos, nuestro guía y el profesor que guía e instruye por momentos a los estudiantes). Para resolver el problema, nuestro guía se plantea incógnitas y dudas, piensa sobre las herramientas de las que dispone, y se ayuda de los alumnos, formando un sistema de razonamiento crítico en la que crecen intelectualmente tanto los alumnos como nuestro guía, para finalmente dar solución o soluciones al problema.



Figura 2. Modelo metodológico del tema El acero y sus Aleaciones

Pero no queda aquí el bucle, pues la resolución del problema se conectará con un nuevo problema que por lo general será de mayor complejidad. Así, el razonamiento puesto en práctica con anterioridad sirve como antesala de un nuevo razonamiento donde haya que hacer uso de herramientas nuevas (que pueden ser de tipo conceptual y/o procedimental). Dicho esto, la descripción de cada fase que compone el presente modelo es la siguiente:

- *Realidad*: Esta fase toma este nombre pues antes de plantear el problema en cuestión, ubicamos a nuestro guía en un lugar y tiempo particular, donde observa a su alrededor mejoras posibles en aplicaciones concretas, de cara a mejorar su eficiencia, ser más respetuosa con nuestro medio ambiente, etc. Se introducirá pues el problema en un *contexto real*.
- *Problema inicial*: Tras introducir a nuestro guía en un contexto real, se plantea el problema inicial. Este es el punto de partida a la teoría que se pretende enseñar. El problema no es un problema al uso donde se aplican una serie de ecuaciones y se llega a un resultado, sino más bien, justo al contrario. Es decir, nuestro guía tiene inquietudes e imagina que sería ideal realizar una serie de cambios o mejoras, las cuales no sabe bien cómo llevar a cabo, ni tan siquiera si son o no posibles. Bajo esta manera suya de ver y entender las cosas, formulará una pregunta de partida.

Hasta aquí, sólo interviene el guía a través de la voz del profesor. Pero de aquí en adelante, serán los alumnos quienes tengan la batuta de mando y lideren con su participación el desarrollo del modelo metodológico. Para apoyar nuestro modus operandi, usaremos diapositivas que muestren ejemplos reales de aplicaciones de los aceros que se van a estudiar y el porqué de que haya clasificaciones para ellos.

- *Conectar (IA; ideas de los alumnos)*: Esta fase se llama conectar, por cuanto los alumnos dan rienda suelta a su imaginación, construyendo sus ideas propias. Para ello, es esencial conectar con conocimientos previos, adquiridos en cursos anteriores o bucles aplicados con anterioridad, para de esta forma tomar ideas y pensar sobre ellas (razonamiento crítico). Aquí, profesor y guía callan un tiempo prudencial que variará en función de las preguntas, razonamiento y respuestas que vayan formulando los alumnos. Son ellos quienes piensan a través de sus propias preguntas.
- *Importancia (Ac; actividad de contraste)*: Obviamente, no todos los alumnos progresan en la fase anterior al mismo ritmo. Algunos pueden no comprender y /o estar de acuerdo con el planteamiento de otros. Puede que el pensamiento crítico se desvíe mucho de los contenidos a enseñar. Para guiar a los alumnos, y tras anotar el desarrollo y contenidos más importantes de su debate en la fase previa, será el propio guía quien reformule con nuevas interrogantes y variables cuan de acuerdo o desacuerdo esté con sus hipótesis/ideas, guiándolos en la dirección de los contenidos que el profesor quiere que adquieran y garantizando que avancen en su manera de razonar y adquiriendo contenidos a la vez, para que no se retrasen unos de otros, o que este retraso sea el mínimo posible.
- *Teoría*: Tras estas fases, el profesor entra a formar parte del modelo metodológico por primera vez (hasta ahora hablaba en voz del guía). El profesor dará nociones teóricas que tendrán un carácter tanto de tipo conceptual como procedimental, para apoyar los razonamientos que llevaron al guía y los alumnos a plantear las posibles ideas de cara a resolver el problema. Aquí, dependiendo de los contenidos a enseñar, se introducirán definiciones, fórmulas, y cuantos contenidos sean necesarios. Pero con una salvedad muy importante con respecto al método tradicional de lecciones magistrales: *Los alumnos tomaron conciencia de cómo llegar a estos contenidos y cómo se sitúan en un contexto real*. De esta forma, pueden ver a través de un razonamiento lógico las respuestas que dieron los grandes pensadores de la época (los “por qué”).  
 NOTA: Estas 3 fases (importar, conectar y teoría) están interrelacionadas entre sí, por lo que puede que se repitan más de una vez dentro del bucle principal que responde a este método metodológico. Así, pueden formar un sub-bucle dentro del bucle principal, para evitar introducir todos los contenidos teóricos a la vez, bien porque sean muchos, muy abstractos, de difícil asimilación, o por varias de estas razones. Se busca que los alumnos no pierdan el interés y/o se desconecten por mucho tiempo.
- *Problema (volver)*: Una vez en esta fase, se retoma el problema de partida que tenía nuestro guía, para comprobar los avances realizados por los alumnos y tomar conciencia de cómo a través del pensamiento crítico han ayudado a nuestro guía. Los alumnos han aprendido de los materiales existentes y de sus comportamientos, de las evidencias del entorno, y han conectado así la aplicación real con los conocimientos existentes, para retornar al problema y dar soluciones.
- *Realidad*: Así, nuestro guía, junto con los alumnos, han ayudado a mejorar lo existente. Pero nuestro guía es muy curioso y está inquieto por mejorar otro aspecto, aplicación, material, etcétera, por lo que con lo ya aprendido en mente, planteará un nuevo problema que desafíe de nuevo a los alumnos.

Y así una y otra vez se repite el modelo metodológico en el CIMA.

### *Secuencias de actividades programadas*

La secuencia de actividades se recoge en la Tabla 1. Las actividades las realizamos en grupos pequeños de unas siete u ocho personas (dando flexibilidad para que se agrupen como quieran y cuantos quieran).

C1\*: Durante el debate, el contenido consiste en ejemplos reales de aceros empleados en diferentes aplicaciones. El orden en que aparecen los aceros es el cronológico, pues coincide con el aumento de la complejidad de los mismos, y por tanto de su aparición en el mercado. Sin embargo, un aspecto interesante es que la aplicación no siempre coincide con poner el acero más “especial” (generalmente el más caro), lo que llamó la atención de los estudiantes en todas las sesiones de este CIMA. Aquí el foco está en debatir porqué uno y no otro material se selecciona para una aplicación concreta, o dicho en otras palabras, que le hace ser el candidato más idóneo. Luego el problema es *¿Cuál es el material más adecuado para la aplicación tal?*

Tabla 1. Secuencia de actividades afín a las cuatro sesiones

Actividad		Descripción	Medio	Tiempo	Contenido
Nº	Nombre				
1	Realidad	Se plantean ejemplos reales	Clase	15 min	C1*
2	Problema inicial	Se plantea el caso práctico (cómo diseñar ese material)			C2*
3	IA Conectar	El alumno se cuestiona los requisitos para elegir (diseñar) un material y las posibles alternativas al mismo		1 hora y 35 min	C3*
4	Ac Importancia	Optimización de las propiedades			C4*
5	Teoría	Asociación de conceptos y repaso			C5*
6	Problema Volver	Asociación de conceptos y repaso		8 min	C6*
1	Realidad	Caso práctico con la que comenzará la siguiente sesión		2 min	C1*

C2\*: Aquí se plantean casos prácticos para explicar cómo se llegan a las microestructuras y se obtienen los micro-constituyentes (como es el material por dentro) para que dicho acero sirva o pueda servir en esa aplicación. Y como para la selección de un acero hay que considerar un equilibrio de sus propiedades. Existen aplicaciones donde el acero más básico es el mejor, en lugar del acero más complejo. Las cinco sesiones quedan de la siguiente manera: Sesión 1: Vista general a lo largo de la historia. Sesión 2: Aceros al carbono y aceros ambientales. Sesión 3: Aceros inoxidables. Sesión 4: Aceros de baja y elevada aleación, y otros tipos de aceros (herramientas...). Sesión 5: Esta sesión no sigue la secuencia de la tabla 1. En esta sesión práctica los alumnos aplicarán lo aprendido en cuanto a selección y aplicaciones, mediante el uso de un software ad-hoc, como se describirá más adelante.

C3\*: En este apartado planteamos variantes como diferentes composiciones (por ejemplo, añadir dopantes) y/o tratamientos térmicos, que dan lugar a aceros con propiedades mecánicas y físico-químicas diferentes. En estas sesiones se hará hincapié en evaluar el efecto que tienen las distintas modificaciones de un acero, de cara a alcanzar un compromiso óptimo entre propiedades y aplicación, pues por regla general mejorar unas propiedades suele causar un detrimento de otras. Básicamente, no todos los aceros de una misma categoría son iguales, sino que existen muchas variantes con propiedades muy específicas. Un clarísimo ejemplo de ello son los aceros para herramientas.

C4\*: A veces ocurre que hay más de una solución para una cierta aplicación. Sin embargo, otros aspectos de gran relevancia entran ahora en juego, como son el coste de las materias primas y de fabricación, qué método de fabricación es mejor para obtener una pieza de un tamaño y forma concretos, si la aplicación requiere de un material cuya vida útil sea larga o corta (años en servicio previo al fallo), así como del medio exterior (dónde estará esa pieza, si sufrirá cambios bruscos de temperatura, algún tipo de corrosión, esté sometida a esfuerzos mecánicos y/o deformaciones plásticas). Todo ello se revisa en cada sesión, con el objetivo de interrelacionar los conceptos conceptuales y pasados, presentes y futuros.

C5\* y C6\*: Aquí se dará un tiempo para el repaso y asentamiento de los conceptos aprendidos. Son dos etapas importantes por cuanto da tiempo a los alumnos a unificar lo aprendido a la vez que los prepara para la siguiente sesión o bucle de aplicación del modelo metodológico.

## **Aplicación del CIMA**

### *Relato resumido de las sesiones*

*Sesión 1:* La secuencia de actividades *¿Qué aportan los aceros con respecto al resto de los metales y de familias de materiales? ¿Cuál ha sido su relación con el ser humano a lo largo de la historia?* Partimos de diapositivas que muestran (i) ejemplos reales antiguos de aplicaciones de materiales metálicos (espada, escudo) y cerámicos (utensilios de cocina). (ii) Evolución de los aceros en el tiempo (desde puntas de flechas metálicas hasta herramientas de corte modernas, pasando por elementos de construcción diversos). Estas diapositivas pretenden concienciarles del porqué que haya clasificaciones para ellos, y cómo estas clasificaciones responden a una serie de características o propiedades que determinan los usos de dichos materiales. Además, se les ilustra con imágenes de sus microestructuras y sus arreglos atómicos, los cuales ellos deben identificar y asociar. Los alumnos, repartidos en grupos, disponen de varios minutos para debatir (identificar y asociar) a qué acero pertenece cada microestructura. Además, nuestro guía les preguntó (añadiendo variables) del porqué esa microestructura determina qué propiedades, de manera que se aplique de una manera u otra. De esta forma, esta asociación les permite a los alumnos anticipar un determinado comportamiento en servicio. Esta sesión introductoria persigue que el alumno tome conciencia de como la selección de materias primas y el modo de trabajarlas confiere unas determinadas propiedades, que han ido refinándose en el tiempo. Luego, el profesor explicó la teoría general de los distintos componentes y sus características, interrelacionando teoría con conceptos surgidos de sus ideas y actividad de contraste. Finalmente, se formularon las preguntas *¿Cómo clasificarías tú los aceros y por qué?* Dando paso a las sesiones 2, 3 y 4. En esta sesión introductoria se introducen pinceladas de cada una de las sesiones siguientes.

*Sesión 2:* *¿Cómo clasificarías los aceros? ¿Qué acero (y por qué) aplicarías en una puntilla o en un eslabón de catenaria?* En esta sesión, y antes de mostrar diapositivas, los alumnos razonaron críticamente por ellos mismos y dieron respuestas con sus ideas. Éste es nuestro punto de partida. Aquí se generó un gran debate que despertó el interés de los alumnos, siendo partícipes de la importancia de lo que se va a estudiar. Tras unos minutos de debate, nuestro guía introdujo mediante actividades de contraste ciertas ideas para encaminarles en la correcta dirección, a la vez que apuntó las conclusiones. Nuestro guía da pistas para identificar las microestructuras y repetimos el juego (IA +Ac): El diagrama metaestable hierro-carbono que caracteriza a los aceros al carbono. Tras este periodo de conexión, el profesor identificó los aceros y sus características que determinan sus propiedades más significativas y aplicación (teoría). Para ello se valió de las diapositivas previamente preparadas. Y lanza la pregunta: *¿Hay maneras de alterar este diagrama para obtener microestructuras diferentes? ¿Qué consecuencias tendrá? ¿Y qué pasa si...?* Estas preguntas se mantuvieron a lo largo de todo el problema planteado en esta sesión 2, sirviendo como gancho para que participen y se animen a tener inquietudes propias y auto-responderse los *¿por qué?* Una vez tenemos todas las herramientas a nuestra disposición, retornamos al problema de origen para ayudar al guía a resolverlo. Plantear una interrogante detrás de otra busca que el alumno se plantee y resuelva los problemas menores que surjan en el camino. Esta sesión finalizó con las preguntas *¿Y si añadimos otros elementos aleantes? ¿Importará que se añadan en mayor o menor proporción?*

*Sesión 3:* *¿Qué sucede si añadimos otros elementos aleantes? ¿Importará que se añadan en mayor o menor proporción?* En esta sesión los alumnos auto-razonaron críticamente, dando

respuestas con sus ideas (IA). Tras un tiempo de debate, nuestro guía aportó ideas sobre cómo mejorar ciertas propiedades de los aceros al carbono añadiendo elementos nuevos (IA +Ac). Tras este periodo, el profesor explicó como los elementos aleantes modifican el diagrama de fase, dividiéndolos en alfa y gamma. Se hizo hincapié en varios de ellos, como el cromo (que da lugar a los aceros ambientales). Lógicamente, se enfatizaron las propiedades físico-químicas e ingenieriles de los aceros débilmente aleados y los aceros ambientales. Esta sesión refuerza sus conocimientos sobre el impacto que tiene la variación de estos parámetros en las propiedades finales, lo que les permitirá optimizar las piezas según la aplicación. Al fin de la sesión, el alumno cuenta con un razonamiento crítico, conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales suficientes como para poder anticipar qué acero usar según la aplicación, finalizando así con la pregunta: *¿Y si añades cromo y níquel en altas cantidades?*

*Sesión 4: ¿Y si añades alfa (cromo) y gamma (níquel) en altas cantidades?* En esta sesión los alumnos auto-razonaron críticamente y dieron sus respuestas e ideas (IA). De nuevo, surgió un gran debate lleno de imaginación, donde nuestro guía aportó ideas de cómo seguir mejorando los aceros y dónde aplicarlos (Ac), e introdujo ideas (Ac) ideas para encaminarles en la dirección correcta. Un ejemplo fue que los aceros inoxidables austeníticos no sirven en aplicaciones sujetas a ambiente corrosivo y esfuerzo constante. En esta sesión, los alumnos tuvieron más tiempo para aportar ideas y tomar el liderazgo/participación. Como siempre, se apuntaron las conclusiones. Tras el debate, nuestro guía dio pistas para identificar las microestructuras, y repetimos el juego (IA +Ac). Luego, el profesor explicó la teoría detrás del desarrollo y evolución de los aceros especiales (ej.: aceros de herramientas). Por supuesto, se enfatizaron sus propiedades ingenieriles con ejemplos de la vida real. Al acabar la sesión, el alumno posee un razonamiento crítico y conocimientos necesarios para decir qué acero usar en una aplicación específica. Por ello, concluimos con la pregunta: *Si diseñas una pieza para una cierta aplicación cualquiera, ¿qué acero usarías y por qué?*

*Sesión 5: ¿Qué material usarías para la aplicación que estás pensando ahora?* En esta sesión, y tras un debate entre alumnos y guía, se eligieron varias aplicaciones para poder ellos manifestar su razonamiento crítico de lo aprendido, para diseñar y optimizar los aceros a emplear, su coste y cómo fabricarlos. Por tanto, el objetivo de esta quinta sesión es el diseño de aceros en función de las aplicaciones consensuadas. Esta actividad se realizó usando el programa CES-EDUPACK, disponible en las aulas informáticas de la Escuela Politécnica Superior, y que permite seleccionar materiales en función de parámetros y condiciones de contorno seleccionados (corrosión a un medio o varios medios, densidad, temperatura de aplicación, resistencia máxima a impacto, vida útil, etc).

### *Evaluación del aprendizaje de los estudiantes*

La evaluación de los modelos mentales y del aprendizaje de los alumnos se ha realizado mediante la comparación de las respuestas del cuestionario inicial y final, que se pasaron antes y después de la aplicación del CIMA (Porlán, 2017). Las respuestas a cada una de las seis preguntas se clasifican en cuatro escalones en función del nivel complejidad de la respuesta, como se observa en la Figura 3, que recoge el análisis de evaluación del aprendizaje basado en los cuestionarios inicial y final CIMA. Las preguntas del cuestionario son las siguientes:

- *¿Qué distingue los aceros de otros metales?*
- *¿Se puede conocer la microestructura a partir de un diagrama de equilibrio?*
- *¿Qué distingue un acero ambiental de un acero al carbono?*
- *¿Por qué razón un acero inoxidable es tan bueno frente a la corrosión?*
- *Razona alguna aplicación en la que aplicar un acero suponga una desventaja.*
- *¿Crees que existen aceros súper duros? ¿Por qué y dónde los aplicarías?*

Las dos conclusiones principales que se pueden extraer de la evaluación tras el análisis de las respuestas son: (i) Que el CIMA ha ayudado a que los modelos mentales de la mayoría de los alumnos pasen de desconocimiento a nivel medios-avanzados. De hecho, la mayoría de ellos han pasado del escalón A al escalón D en casi todas las respuestas, como se manifiesta en la Tabla 2. (ii) Y que los alumnos razonan de manera crítica qué son los diferentes tipos de aceros, sus características y propiedades y, quizá los más importante, entrelazar todos ellos para elucidar sus aplicaciones.

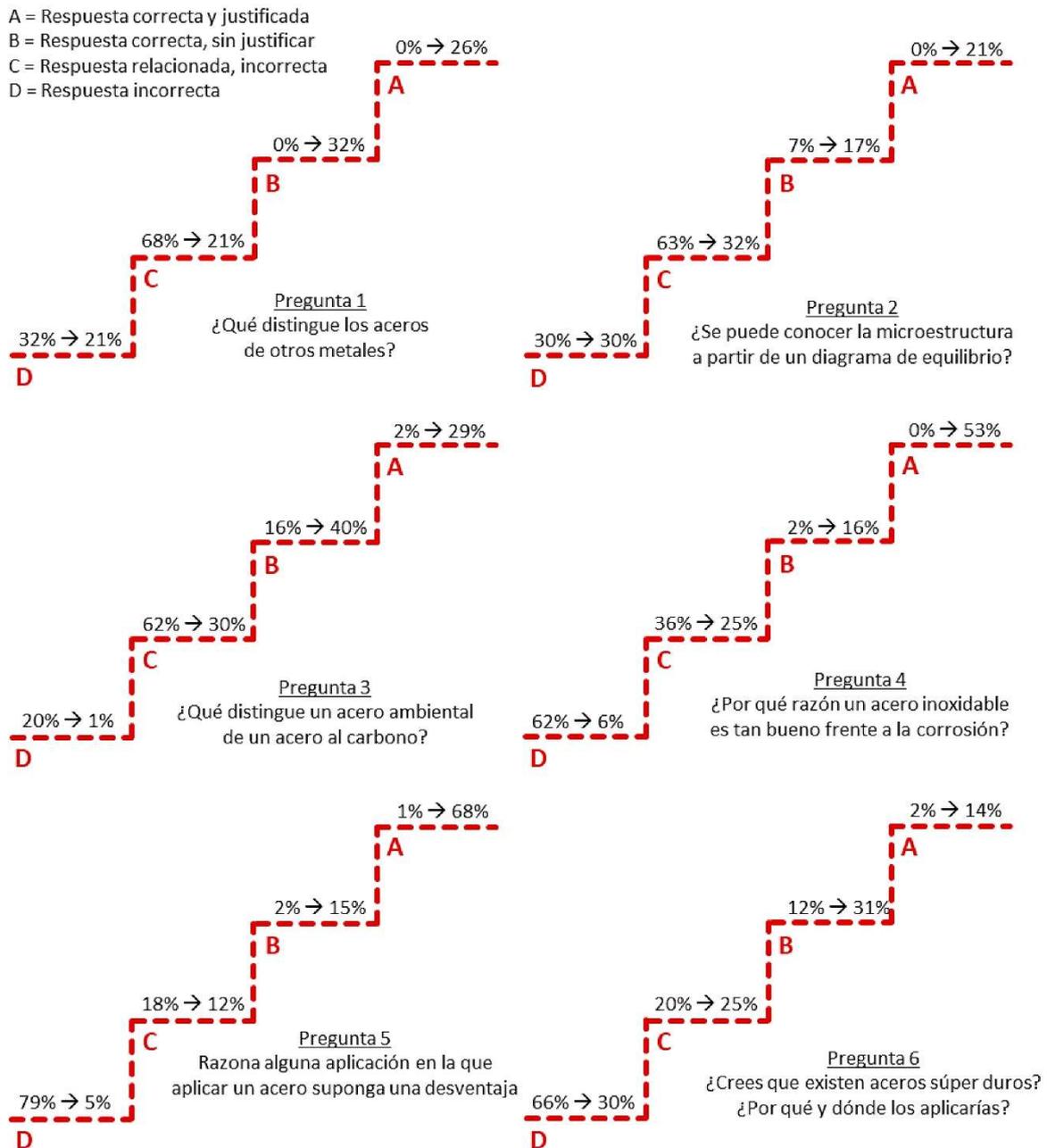


Figura 3. Escaleras de aprendizaje de los alumnos

Una conclusión menor es que también han interiorizado contenidos conceptuales previos, los cuales estaban memorizados en sus modelos mentales, pero que no lograban comprender. En este sentido, el cuestionario inicial ha sido especialmente importante, por cuanto me permitió sacar la conclusión principal de que los modelos mentales de muchos alumnos no estaban a

la altura de lo que yo como docente esperaba de ellos. Los contenidos conceptuales y los nexos de unión entre los mismos no estaban lo suficientemente interiorizados en muchos estudiantes, lo que me obligó a replantearme el nivel de partida y como estimularlos en clase.

En la siguiente tabla (Tabla 2) se ha representado la evolución individual de cada alumno en cada una de las preguntas.

Tabla 2. Tabla de evolución individual

Alumno	Pregunta 1			Pregunta 2			Pregunta 3			Pregunta 4			Pregunta 5			Pregunta 6		
	In	Fi	Pr															
A:	C	D	-1	C	A	2	D	B	2	C	B	1	D	A	3	D	C	1
B:	C	B	1	C	C	0	B	B	0	D	B	2	D	C	1	D	D	0
C:	C	B	1	D	D	0	C	B	1	D	A	3	C	A	2	C	B	1
D:	D	A	3	C	C	0	B	C	-1	D	C	1	D	A	3	D	B	2
E:	C	C	0	C	B	1	C	C	0	D	C	1	D	A	3	C	C	0
F:	C	A	2	D	B	2	C	A	2	D	C	1	D	A	3	D	A	3
G:	C	B	1	C	C	0	B	A	1	D	D	0	D	A	3	C	C	0
H:	C	B	1	B	B	0	C	B	1	D	A	3	D	B	2	D	B	2
I:	C	A	2	D	D	0	C	A	2	C	A	2	D	A	3	D	D	0
J:	D	B	2	C	C	0	C	B	1	C	A	2	C	A	2	D	C	1
K:	C	C	0	C	C	0	C	C	0	D	C	1	C	C	0	B	C	-1
L:	C	A	2	C	C	0	D	C	1	D	A	3	D	A	3	B	B	0
M:	C	D	-1	D	A	3	C	C	0	C	B	1	D	D	0	D	D	0
N:	C	D	-1	C	D	-1	C	A	2	C	A	2	D	A	3	C	B	1
O:	D	D	0	C	D	-1	C	A	2	C	C	0	D	A	3	B	B	0
P:	D	C	1	C	D	-1	D	B	2	C	A	2	D	A	3	D	B	2
Q:	D	C	1	D	D	0	C	C	0	D	A	3	C	B	1	D	D	0
R:	C	A	2	D	B	2	C	B	1	D	A	3	D	B	2	D	D	0
S:	D	B	2	C	A	2	D	A	3	D	A	3	D	A	3	D	D	0

In: Respuesta Inicial; Fi: Respuesta Final; Pr: Progreso

## Evaluación del CIMA

### *Cuestiones a mantener y cambios a introducir para un futuro Ciclo de Mejora*

En líneas generales estoy satisfecho con el resultado obtenido tras la aplicación del CIMA. La unión del aprendizaje en espiral y el método del taller conceptual, donde los alumnos trabajan sobre problemas diseñados alrededor de un enigma, les permitió adquirir un razonamiento crítico con el que resolver problemas ahora y en el futuro, al mismo tiempo que ganar en conocimiento. Además, centrar la enseñanza en ellos me ha permitido verlos participar de manera proactiva. Sentirme partícipe de su evolución mediante razonamiento crítico, de cómo los alumnos relacionan contenidos conceptuales y procedimentales con aspectos de la vida cotidiana que no se habían detenido a pensar, pero que tienen asimilados sin saberlo, me causó una grata sensación.

Dos aspectos importantes a mantener a partir de ahora son (i) *el uso de los cuestionarios y su evaluación*, pues me ayudaron mucho para anticiparme a los modelos mentales de los alumnos y sus obstáculos principales. (ii) *El diario de sesiones* o diario del profesor ha sido otra herramienta que me ha impresionado gratamente, pues me ha permitido desarrollar mi trabajo de autoevaluación y de evaluación del diseño didáctico aplicado. Estas herramientas eran desconocidas y son con diferencia las que más me han ayudado.

## *Principios Didácticos argumentados que han guiado la experiencia presente y que deben permanecer en el futuro*

Los principios didácticos que me han guiado son el uso del *mapa de contenidos* y del *modelo metodológico*, diseñados a conciencia, que discriminan lo realmente importante y necesario, junto con el uso de preguntas para atraer al alumno. También el *uso de cuestionarios* bien diseñados para conocer los modelos mentales de cada uno de los estudiantes y tener una visión cercana a la realidad del alumno. Y el *diario del profesor* para anotar cuanto acontece y tenerlo presente en un futuro. Por último, una reflexión sobre el mapa de contenidos, modelo metodológico y cuestionario empleados, que han demostrado tener varios puntos débiles que quiero modificar para mejorarlos en un futuro.

### **Referencias Bibliográficas**

- Bain, K. (2006). *Lo que hacen lo mejores profesores universitarios*. Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- 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 de la Universidad de Valencia.
- Porlán, R. (Coord.) (2017). *Enseñanza Universitaria. Cómo mejorarla*. Editorial Morata.