

# Una forma alternativa de explicar los Ensayos No Destructivos que usan radiación

## An alternative way to explain the Non Destructive Testing techniques that use radiation

FÍSICA

Víctor López Flores

<https://orcid.org/0000-0002-6319-5971>

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

Correo: [vlopez2@us.es](mailto:vlopez2@us.es)

**Resumen.** En este trabajo se describe la aplicación de un Ciclo de Mejora en el Aula en la asignatura “Ingeniería de calidad y ensayos no destructivos” del Grado en Ingeniería de Materiales. El modelo metodológico propuesto tiene dos partes principales: primero, una parte donde los estudiantes avanzan en el conocimiento de los fundamentos físicos del tema a través de preguntas clave planteadas por el profesor; y segundo, un caso práctico en forma de *role-play* donde, a través de la interacción con un cliente que acude con un problema ficticio (pero plausible) relacionado, deben ampliar su conocimiento de la parte técnica del tema. El cambio de metodología agradó a los estudiantes y al profesor, aumentando su motivación, y consiguió una gran mejora en los conocimientos de los estudiantes sobre el tema.

**Abstract.** This work describes the application of a teaching improvement cycle in the subject “Quality engineering and non-destructive testing” from the degree in Materials Engineering. The proposed methodological model has two main parts: first, a part where the students improve their knowledge on the physics foundations of the topic through key questions posed by the teacher; and second, a case study in a *role-play* form where, through the interaction with a client that seeks for help with a related fictional (but plausible) problem, the students must expand their knowledge of the technical part of the topic. The students and the teacher enjoyed the change in the methodology, which motivated them, and a good improvement in the students’ knowledge on the topic was achieved.

**Palabras clave.** Ingeniería de calidad y ensayos no destructivos, Grado en Ingeniería de Materiales, docencia universitaria, desarrollo profesional docente, radiación.

**Keywords.** Quality engineering and non-destructive testing. Degree in Materials Engineering, university teaching, teaching professional development, radiation.

### Contexto

En esta asignatura, el objetivo es que los alumnos conozcan varios tipos de Ensayos No Destructivos (END) (Hellier, 2020; Bray & McBride, 1992), que son técnicas de caracterización para la detección de defectos en un material sin afectar la utilidad de un sistema o estructura.

La forma tradicional en que se dan estas clases es que el profesor asigna a los alumnos los temas del programa (típicamente un tipo de ensayo por cada 2 o 3 alumnos), y se les pide que preparen una presentación sobre el mismo como una clase magistral, tras lo cual él y los compañeros hacen preguntas relacionadas con el tema. Por ello, la asistencia es obligatoria. Dependiendo del número de alumnos, algunos de los temas los imparte el profesor en una clase magistral tradicional. Se evalúa la calidad de la presentación y la capacidad de responder preguntas y de hacerlas cuando no se está presentando. Aunque existe la posibilidad de examen, no se suele celebrar pues suele haber un 100% de aprobados con las presentaciones.

En el momento de este CIMA, todos los alumnos han hecho al menos una presentación. Esto significa que cada uno es un “experto” en al menos uno de los END. Además, esta es una asignatura de último curso, con lo que las bases de física, química y matemáticas que tienen son amplias. En este año hay sólo 9 alumnos, lo que facilita la experimentación docente.

## Diseño previo del CIMA

### Mapa de contenidos y problemas clave

En la figura 1 se presenta el mapa de contenidos (García, Porlán y Navarro, 2017) del tema, que engloba los conocimientos que los alumnos deberían adquirir sobre el mismo.

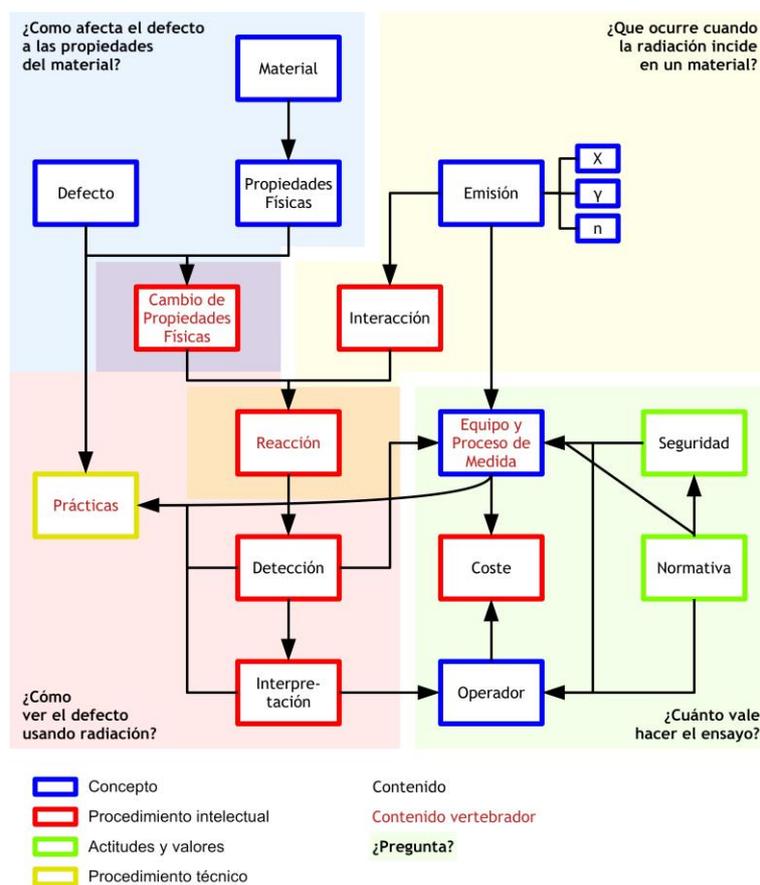


Figura 1. Mapa de contenidos



4. En la última sesión la *empresa* de END le presenta al *cliente* el procedimiento que van a usar, en lenguaje sencillo (Feynman, Leighton & Hutchings, 1985), sin perder detalles. Luego se genera un debate con los alumnos para comparar las tres técnicas. Finalmente, si queda tiempo, el profesor ampliará el tema con subtemas secundarios en una clase magistral tradicional.

Además, hay una sesión de prácticas donde los alumnos realizan un ensayo con rayos X, con lo que toman contacto con equipos y procedimientos cercanos a los reales. Durante el desarrollo de este CIMA, la práctica ya la habían realizado con otro profesor, por lo que no forma parte de este CIMA, aunque es importante que aparezca en el mapa de contenidos.

Tabla 1. Secuencia de actividades de la Primera Sesión de clase

Primera sesión (120 min)		
<b>S1 – 0. Introducción</b>	<b>I</b>	<b>10 min</b>
Explico que la clase no será magistral, como tradicionalmente, sino que iré haciendo preguntas e iremos discutiendo para llegar a conclusiones. Introduzco el tema: la interacción de la radiación con la materia. Especifico que hablaremos de 3 tipos (X, $\gamma$ , n), y que, en cada pregunta, debemos discutir sobre las 3.		
<b>S1 – 1.1. Pregunta 1</b>	<b>P1</b>	<b>1 min</b>
Se plantea la pregunta 1: <b>¿Cómo afecta un defecto a las propiedades de un material?</b>		
<b>S1 – 1.2. Discusión de la Pregunta 1</b>	<b>IA ↔ AC</b>	<b>30 min</b>
<b>¿Cómo afecta un defecto a las propiedades de un material?</b> Se hace una discusión sobre este tema. Como es una pregunta del cuestionario inicial, se comienza leyendo algunas respuestas y discutiendo sobre ellas. Para ir guiando a los estudiantes, se plantearán preguntas encadenadas como: <i>¿Cómo afecta a las propiedades macroscópicas (densidad, resistencia, dureza...)?</i> <i>¿Cómo afecta a las propiedades microscópicas (estruc. cristalina, composición química)?</i> <i>¿Cómo afecta a las propiedades atómicas (configuración electrónica / nuclear...)?</i> El objetivo es relacionar diferentes tipos de defectos con el efecto en las propiedades macroscópicas, y estos con las propiedades microscópicas y las propiedades atómicas (o la media de ellas en el defecto) respecto del material sin defectos, ya que de las últimas depende la interacción con la radiación.		
<b>Recursos:</b> respuestas obtenidas del cuestionario inicial. Fotografías de diferentes tipos de defectos. Esquemas de estructuras cristalinas (con defectos cristalinos). Tabla periódica. Diagramas de configuración electrónica (niveles energéticos, teoría de bandas). Diagramas de configuración nuclear.		
<b>Contenidos:</b> (mapa) Material; Propiedades Físicas; Defecto; Cambio de Propiedades Físicas		
<b>S1 – 2.1. Pregunta 2</b>	<b>P2</b>	<b>1 min</b>
Se plantea la pregunta 2: <b>¿Qué ocurre cuando la radiación (X, <math>\gamma</math>, n) incide sobre un material?</b>		
<b>S1 – 2.2. Discusión de la Pregunta 2</b>	<b>IA ↔ AC</b>	<b>30 min</b>
<b>¿Qué ocurre cuando la radiación (X, <math>\gamma</math>, n) incide sobre un material?</b> Se hace una discusión sobre este tema. Como es una pregunta del cuestionario inicial, se comienza leyendo algunas respuestas y discutiendo sobre ellas. Se irá comparando los 3 tipos de radiación de forma paralela. Para ir guiando a los estudiantes, se plantearán preguntas encadenadas como: <i>¿Qué cosas le puede pasar a la radiación incidente (absorción, refracción, dispersión...)?</i> <i>¿Son relevantes la energía, longitud de onda, intensidad... de la radiación en esos efectos?</i> <i>¿Cómo afectan las propiedades macroscópicas (densidad, resistencia, dureza...) a lo que le pasa a la radiación incidente?; ¿Cómo afectan las propiedades microscópicas (estructura cristalina, composición</i>		

<p><i>química...)</i> a lo que le pasa a la radiación incidente?; ¿Cómo afectan las propiedades atómicas (configuración electrónica / nuclear...) a lo que le pasa a la radiación incidente? ¿Cómo reacciona el material a la radiación? El objetivo es relacionar los efectos que sufre la radiación en los materiales con las propiedades atómicas del material, y su relación con las propiedades microscópicas y macroscópicas.</p>		
<p><b>Recursos:</b> Esquemas de los efectos que sufre la radiación (absorción, refracción...) en materiales, a escala macroscópica y a escala atómica. Esquemas de reacciones de materiales a la radiación (calentamiento, emisión electrónica...). Esquemas de estructuras cristalinas. Tabla periódica. Diagramas de configuración electrónica (niveles energéticos, teoría de bandas). Diagramas de configuración nuclear.</p>		
<p><b>Contenidos:</b> (mapa) Emisión; Interacción; Reacción</p>		
<b>S1 – 3.1. Pregunta 3</b>	<b>P3</b>	<b>1 min</b>
<p>Se plantea la pregunta 3: <b>¿Cómo vemos un defecto usando radiación (X, <math>\gamma</math>, n)?</b></p>		
<b>S1 – 3.2. Discusión de la Pregunta 3</b>	<b>IA ↔ AC</b>	<b>30 min</b>
<p><b>¿Cómo vemos un defecto usando radiación (X, <math>\gamma</math>, n)?</b> Se hace una discusión sobre este tema. Como es una pregunta del cuestionario inicial, se comienza leyendo algunas respuestas y discutiendo sobre ellas. Se irán comparando los 3 tipos de radiación discutidos en la pregunta 2 en cada paso de forma paralela y viendo como afectan a distintos tipos de defectos planteados en la pregunta 1. Al haber discutido ya cómo afecta la radiación a la materia, estas relaciones deben comenzar a “encajar”. Para ir guiando a los estudiantes, se plantearán preguntas encadenadas como: <i>¿Qué diferencia hay entre las propiedades macroscópicas / microscópicas / atómicas del material en el defecto y fuera de él?; ¿Cómo afecta de diferente estas propiedades a la radiación incidente?; ¿Cómo detectamos esa diferencia?; ¿Cómo transformamos la reacción de un material a la radiación en algo que podamos ver/detectar/medir?</i> El objetivo es relacionar el cambio de las propiedades macroscópicas → microscópicas → atómicas (o la media de ellas en el defecto) respecto del material sin defectos, y ver cómo esto hace que la radiación y el material reaccionen de forma diferente. También se intentará llegar a que la reacción de otro material a la radiación se puede usar como detector.</p>		
<p><b>Recursos:</b> Esquemas de los tipos de efectos que sufre la radiación (absorción, refracción, dispersión...) en los materiales, a escala macroscópica y a escala atómica. Esquemas de reacciones de materiales a la radiación (calentamiento, emisión electrónica, fluorescencia...). Esquemas de estructuras cristalinas. Tabla periódica. Diagramas de configuración electrónica (niveles energéticos, teoría de bandas). Diagramas de configuración nuclear.</p>		
<p><b>Contenidos:</b> (mapa) Interacción; Reacción; Detección; Interpretación</p>		
<b>S1 – 4. Conclusiones</b>	<b>I</b>	<b>10 min</b>
<p>Se realiza un resumen de la sesión, extrayendo las ideas principales. Estas ideas se piden a los alumnos y se aprueban por consenso. Se busca la respuesta más precisa y correcta de las 3 preguntas.</p>		
<p><b>Recursos:</b> una pizarra (real o virtual)</p>		
<p><b>Contenidos:</b> todos los anteriores</p>		

Tabla 2. Secuencia de actividades de la Segunda Sesión de clase

<b>Segunda sesión (120 min)</b>	
<b>S2 – 0. Preparación previa</b>	
<p>Le envío un anuncio a los alumnos donde les explico en qué va a consistir la clase: va a haber un caso práctico, ellos deben discutir qué ensayo o ensayos son los adecuados, y deben proponer el método de actuación. Les pido que tengan lista la bibliografía que tienen del trabajo que ya han hecho, y les</p>	

proporcione bibliografía adicional donde aparecen los ensayos con radiación y neutrones que se pueden usar en el caso.

**Recursos:** la bibliografía propia y la proporcionada

<b>S2 – 1. Introducción</b>	<b>I</b>	<b>10 min</b>
-----------------------------	----------	---------------

Recordamos cómo va ser la clase, igual que en el anuncio, y me aseguro que tengan la bibliografía proporcionada disponible.

**Recursos:** la bibliografía propia y la proporcionada

<b>S2 – 2.1. Exposición del caso práctico</b>	<b>CP ↔ IA</b>	<b>15 min</b>
---	----------------	---------------

Comienza el *role-play*: en la primera reunión, el cliente expone su problema, pero con un nivel de detalle no óptimo, pues él en principio no sabe qué información se necesita para saber qué tipo de ensayo es el adecuado. El problema estará diseñado para que tenga que ser dividido en 3 subproblemas, donde cada uno necesitará para ser resuelto uno de los 3 ensayos del tema ( $X, \gamma, n$ ), pero además es posible que necesite otro ensayo de los ya dados durante el curso.

El comité le plantea las preguntas necesarias para ir delimitando el ensayo adecuado. Se genera una interacción cliente-comité para obtener los detalles necesarios. Esto completa el caso práctico.

**Recursos:** El cliente lleva fotografías y esquemas para ayudar al comité en la descripción del problema, en forma de presentación PPT. Necesita medios para la presentación.

<b>S2 – 3. Discusión para descubrir qué ensayo es adecuado</b>	<b>IA ↔ AC</b>	<b>40 min</b>
--	----------------	---------------

Una vez que el comité cree tener la información necesaria, acaba la reunión y comienzan a discutir entre ellos para ver qué ensayo elegir.

Como el problema propuesto se divide en 3 subproblemas, y para hacer más fluido el debate y el posterior trabajo, se divide a los alumnos en grupos de 3. Se les dará a escoger una de las subdivisiones del problema para que lo analicen.

El profesor irá pasando por los distintos grupos.

Frecuentemente se darán cuenta de que les falta algo de información sobre el sistema que tienen que ensayar, por lo que “llaman al cliente” y le piden más información (es decir, consultan con el profesor). Como cada subproblema está diseñado para sólo uno de los ensayos funcione, estas consultas al cliente deben tener resultados negativos (Actividad de Contraste-AC). También debe ocurrir que cuando comienzan a proponer algún ensayo, otro compañero recuerda cuál es el aspecto que hace que ese ensayo no sea posible (de nuevo AC), o si ninguno se da cuenta y entonces van claramente por una ruta equivocada, entraría el profesor llamando la atención sobre ello y reconduciendo la discusión.

**Recursos:** bibliografía e internet

**Contenidos:** (mapa) Material; Propiedades Físicas; Defecto; Cambio de Propiedades Físicas; Interacción; Reacción

<b>S2 – 4. Decisión</b>	<b>D</b>	<b>10 min</b>
-------------------------	----------	---------------

Finalmente se acaba el debate llegando a una decisión sobre lo que se va a proponer al cliente. El cliente les pide que en la próxima reunión se le explique con detalle cómo y por qué funciona el ensayo que han escogido, el equipamiento que se va a usar, cómo va a ser el procedimiento, por qué esto le va a resolver el problema, quién va a hacer el ensayo, qué normativa se va a seguir, y un presupuesto aproximado.

<b>S2 – 5. Investigación bibliográfica sobre el método escogido</b>	<b>IB ↔ AC</b>	<b>30 min</b>
---	----------------	---------------

Deben los alumnos preparar una presentación con la cual le van a proponer al cliente la actuación que van a hacer. La exigencia del cliente de todos los detalles mencionados más arriba es para que profundicen un poco más en el ensayo escogido (activan los contenidos, especialmente los que aún no se han tratado). Sin embargo, también se pide que la presentación tenga en cuenta que el cliente no es un experto, así que debe ser explicada con palabras llanas, pero sin perder detalles. Esto es porque sólo llegando a un nivel de conocimiento relativamente alto, uno es capaz de explicar las cosas con sencillez, con lo que se fomenta que los alumnos alcancen ese nivel alto de comprensión.

La primera parte de la investigación se hace durante la clase. Esto permite que el profesor oriente sobre qué es lo importante para el cliente, y pueda aconsejar y ayudar en directo.

**Recursos:** bibliografía proporcionada e Internet.

**Contenidos:** (mapa) Interacción; Reacción; Interpretación; Equipo y Proceso de Medida; Operador; Normativa; Seguridad; Coste

Tabla 3. Secuencia de actividades del trabajo en casa

Trabajo en casa (? min)		
<b>(Casa) Preparación de la presentación al cliente</b>	<b>IB</b>	<b>? min</b>
<i>En casa</i> los alumnos deben terminar de investigar sobre el ensayo y preparar la presentación.		
<b>Recursos:</b> bibliografía proporcionada e Internet.		
<b>Contenidos:</b> (mapa) Interacción; Reacción; Interpretación; Equipo y Proceso de Medida; Operador; Normativa; Seguridad; Coste		

Tabla 4. Secuencia de actividades de la Tercera Sesión de clase

Tercera sesión (120 min)		
<b>S3 – 1. Presentación al cliente</b>	<b>PC</b>	<b>60 min</b>
En la siguiente clase, los alumnos le presentan las propuestas al cliente con todos los detalles. Los alumnos pueden elegir un portavoz que haga la presentación, o pueden hacerla entre todos dividiendo las secciones. El cliente hará preguntas pidiendo información que le convenga siguiendo el <i>role-play</i> . Al ser 3 presentaciones, se harán de forma secuencial, con 15 min para cada una.		
<b>Recursos:</b> presentación preparada por los alumnos y medios para la presentación		
<b>Contenidos:</b> (mapa) Interacción; Reacción; Interpretación; Equipo y Proceso de Medida; Operador; Normativa; Seguridad; Coste		
<b>S3 – 2. Conclusiones y debate final</b>	<b>C</b>	<b>30 min</b>
Terminamos con un debate entre todos a modo de conclusión, donde se buscan las ventajas y debilidades de cada método, y se comparan entre sí. Se termina pasando el cuestionario final.		
<b>Recursos:</b> cuestionario final		
<b>Contenidos:</b> (mapa) Todos		
<b>S3 – 3. Temas satélite</b>	<b>T</b>	<b>20 min</b>
Si los alumnos no han tratado estos subtemas, llamémoslos “satélites” el profesor hará brevísimas presentaciones en <i>modo divulgativo</i> sobre: <i>La Historia de los ensayos con radiación; La protección contra la radiación y su normativa; El uso de estos métodos en investigación básica; La transferencia de estos métodos a la medicina</i> Dependiendo del tiempo disponible se harán todas o sólo algunas. Se dará a escoger a los alumnos, y en cualquier caso se dejarán las presentaciones disponibles para consulta posterior.		
<b>Recursos:</b> presentación/es preparadas por el profesor		
<b>Contenidos:</b> (mapa) Todos		

### *Cuestionario inicial-final*

El cuestionario contiene las 4 preguntas del mapa de contenidos, modificadas ligeramente:

1. ¿Cómo afecta un defecto a las propiedades del material? Por ejemplo, una grieta o corrosión.
2. ¿Qué ocurre cuando la radiación X,  $\gamma$  o neutrones incide sobre un material?
3. ¿Cómo se puede ver un defecto usando radiación X,  $\gamma$  o neutrones?
4. ¿Cuánto vale hacer un ensayo con radiación o neutrones? Responder relativamente a los ensayos ya estudiados (más o menos caro que...) ¿Por qué este valor?

## Aplicación del CIMA

Al final de la clase anterior al comienzo del CIMA pasé el cuestionario de ideas inicial, con las preguntas descritas en el diseño. Aparte de para evaluar la evolución de conocimientos de los alumnos, me servirían para introducir las preguntas de la primera sesión.

### *Primera sesión*

La clase comenzó explicando cómo iba a ser: no sería magistral, sino que discutiríamos el tema a base de preguntas y sus respuestas. La idea es que no de yo la clase, sino que entre todos lleguemos a conclusiones. Los alumnos estaban muy receptivos.

Planteé la pregunta 1, que coincide con la pregunta del cuestionario inicial y del mapa de contenidos. Les presenté los tipos de respuestas que habían dado en el cuestionario, y les pregunté qué pensaban de esas respuestas. No hubo mucha fluidez en este punto.

Esto me dio pie a plantear las subpreguntas encadenadas que tengo en el diseño. Además, las cambié ligeramente para dar más contexto. Para la primera planteé como ejemplo *una grieta de 0.5 x 0.5 mm en el centro de una viga de acero que está sometida a tracción*. Con esto el debate fluyó algo mejor. En este caso concluyeron que la resistencia a la tracción (la propiedad macroscópica) se vería afectada y la viga tendría un fallo en servicio pronto.

Usé el mismo ejemplo para las siguientes dos subpreguntas encadenadas. En la segunda añadí *¿Qué diferencia hay entre las propiedades microscópicas en la grieta y fuera de la grieta, por ejemplo, la composición química? Y ¿De qué está hecha la grieta?* Y ahí entendieron que esa grieta es “ausencia” de material, y su composición química cambia drásticamente. En este momento me di cuenta que el ejemplo de la grieta no era el más adecuado. Un defecto de corrosión hubiera sido mejor, pero ya era tarde para cambiar.

Ya resuelta la anterior, la última subpregunta encadenada fue más sencilla para los estudiantes, que rápidamente llegaron a la conclusión que había un cambio en la configuración electrónica y nuclear. Les pregunté también si había mayor o menor densidad electrónica y nuclear en la grieta, que respondieron bien (mucho menor).

Usé la foto de la grieta y la tabla periódica, pero no necesité nada más de los recursos.

En la pregunta 2 hice lo mismo: les resumí los tipos de respuesta que habían dado. Pasé directamente a las subpreguntas encadenadas descritas en el diseño, ya que pensé que así entenderían mejor qué era lo que les estaba preguntando. Con las subpreguntas fuimos repasando la interacción de la radiación con la materia. Este tema lo han dado en otras asignaturas, así que la discusión fue bastante fluida. Donde más se atascó la discusión fue al hablar de los neutrones, pues este tipo de interacción no la han visto nunca. Lo que hice fue ir comparando en paralelo lo que ocurre con la radiación electromagnética y con los neutrones.

Las dos primeras subpreguntas encadenadas las resolvieron rápidamente. En la tercera vimos que no hay una relación directa, por lo que pasamos a las dos siguientes, que son las que llegan a las conclusiones importantes. Ahí conectamos con la pregunta 1: son la densidad electrónica (para la radiación) y la masa atómica (para los neutrones), las propiedades atómicas relevantes.

En esto nos anticipamos a la pregunta 3, así que corté un poco el debate, y planteé la última subpregunta encadenada, qué pasa después de que la radiación incida. Esta última era importante plantearla para poder entender cómo detectar la radiación.

De los recursos, usé los esquemas de efectos y de reacciones de los materiales.

La pregunta 3 ya habíamos empezado a contestarla antes en cierto modo, así que leo las respuestas del cuestionario, y trato de recuperar el debate de la pregunta 2, saltando directamente a la segunda subpregunta encadenada. Rápidamente los alumnos se dan cuenta de la conclusión final: la diferencia de densidad electrónica o número atómico modula la absorción de la radiación, por lo que al hacer “una radiografía”, llega más o menos radiación a la placa posterior. Entonces, en lugar de la subpregunta encadenada final, seguí con el hilo de la discusión y pregunté cómo funcionaba una placa de una radiografía (componente químico que cambia su color al ser ionizado). Luego les expliqué cómo funciona un detector digital basado en semiconductores. Esta última parte fui un poco más rápido pues nos estábamos quedando sin tiempo, así que prácticamente expliqué yo el funcionamiento de los detectores.

Finalmente, hice una pequeña conclusión resumiendo las respuestas acordadas a las 3 preguntas principales, e introduje que estos son los principios en los que se basan los ensayos que usan radiación. Explicé que en la siguiente sesión haríamos un caso práctico parecido al del CIMA 1, donde tendrían que aplicar los conocimientos que habíamos adquirido en esta sesión. Les recomendé los capítulos de la bibliografía que trataban el tema, y que los tuvieran a mano para la siguiente sesión.

## *Segunda sesión*

Planteo el “caso práctico”. El caso tengo que reconocer que es un poco forzado y poco realista, ya que necesito condiciones muy específicas para sistemas que se puedan ensayar con uno de los tres ensayos y no con los otros. Esto lo notan los alumnos, y les pido que ignoren ese hecho. El caso consiste en una serie de tuberías con una fuga, e incluyo 3 tipos diferentes de tuberías que sólo se pueden resolver con los 3 tipos de radiación.

Comienzan a preguntar por las características de cada sistema, y van recopilando las propiedades que les acotarán el ensayo. Cuando llegaron al punto de no saber qué más preguntar, los dividí en 3 grupos, y les dejé elegir cada tubería, de forma aleatoria. Al estar en modo online, los separé en distintas salas para discutir.

La discusión hasta encontrar el ensayo correspondiente no fue muy larga. Pasaron el tiempo buscando las características de los materiales a ver si eran compatibles con cada tipo de ensayo. Tuve que explicarles algunas cosas más complicadas relacionadas con los neutrones, pero salvo eso, encontraron rápidamente con qué ensayo trabajar.

El “cliente” entonces les pidió la información que quería ver en la presentación.

Así que comenzaron a preparar la presentación, y la investigación bibliográfica. En dos de los grupos se dividen el trabajo, mientras que en otro van buscando la información a la vez y la van poniendo en común. En los que se divide, apenas hablan, cada uno concentrado en su parte, pero en el otro sí, y parece que están preparando una única presentación. Aclaro algunas dudas sobre lo que quiere el “cliente”, y alguna otra sobre los principios de interacción de los neutrones, pero prácticamente trabajan de forma autónoma. Esta clase fue más fluida, y la parte no autónoma acabó muy rápido, dejándoles la mitad de la clase para ir haciendo la búsqueda bibliográfica y preparar la presentación.

## *Tercera sesión*

Los tres grupos de alumnos presentaron, en orden aleatorio, cada método al cliente. Las tres estuvieron bien, teniendo en cuenta también la restricción de tiempo. El “cliente” les hizo las preguntas pertinentes, y todos respondieron bastante bien. Da la sensación de que este método los animó a estudiarse bien el tema que les tocaba, pues noté diferencias (positivas) con las presentaciones anteriores que habían hecho.

Luego comenzamos un debate colectivo, con la pregunta *¿cual de estas técnicas es la mejor?*, pues el objetivo es compararlas. Al principio debatían cada uno “defendiendo su equipo”, pero pronto se dieron cuenta de que depende de la situación y del sistema a estudiar, por lo que no hay una “mejor” estrictamente. Elaboramos una lista de ventajas e inconvenientes de cada una, no sólo de tipo técnico, sino también económico, de cualificación del personal, de dificultad debido a normativas... Esto fue muy interesante porque comparamos aspectos muy dispares de cada técnica. Al final tuvimos una especie de guía de “cuándo usar cada técnica” teniendo en cuenta estos aspectos.

Tuve tiempo de presentar dos pequeños satélites: el de protección contra radiación y transferencia a la medicina, que me resultan los más interesantes. Fueron unos 5 minutos cada uno. Reservé finalmente 10 minutos para pasar de nuevo el cuestionario. Decidí no alterarlo respecto del inicial, pues creo que me iba a dar mejor información así.

### Resultados del cuestionario

Los resultados se han representado en forma de escaleras (Rivero y Porlán, 2017) donde el salto representa la dificultad relativa de pasar de un nivel a otro. En rojo se enuncian los obstáculos para pasar al siguiente nivel. En verde el porcentaje de alumnos en el cuestionario final. En la figura 3 se representa como ejemplo los resultados de la pregunta 2.

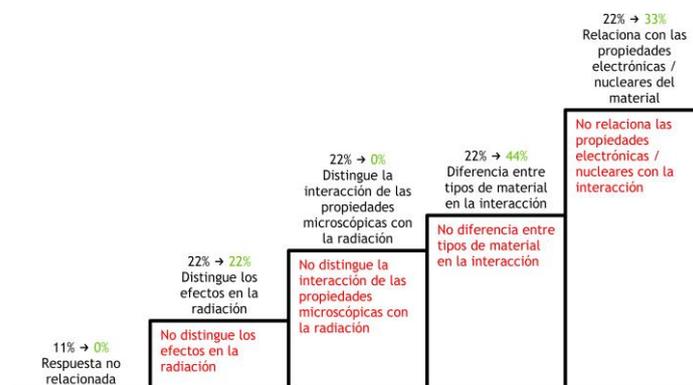


Figura 3. Resultados de la pregunta 2 del cuestionario: *¿Qué ocurre cuando la radiación X,  $\gamma$  o neutrones incide sobre un material?*

En esta pregunta podemos ver cómo los estudiantes tenían al principio una diversidad de respuestas amplia en todos los niveles. Creo que esto se debe a que en realidad sí tienen los conocimientos para dar las respuestas de alto nivel, pero no los relacionan con el tema. Esto creo que ocurre con todo el cuestionario. Una vez dadas las clases, hacen la conexión con el tema y entienden que lo importante es tener en cuenta las propiedades del material, que es lo que los hace diferentes frente a la radiación. Llegar al nivel más alto, donde se detallan las propiedades electrónicas y nucleares les cuesta más, ya que se trata de un concepto más específico, pero aun así una gran parte lo consigue, lo cual es un éxito.

En la tabla 5, se presentan los niveles de mejora por alumno, Las preguntas tienen el nivel en el resultado en el cuestionario (I)ncial (F)inal, con la (M)ejora en cada columna.

Tabla 5. Niveles de respuesta y evolución de cada estudiante en el cuestionario de ideas

Estudiante	Pregunta 1			Pregunta 2			Pregunta 3			Pregunta 4			Mejora
	I	F	M	I	F	M	I	F	M	I	F	M	
1	2	3	+1	2	3	+1	1	3	+2	2	3	+1	+5
2	2	4	+2	1	1	+0	1	3	+2	2	3	+1	+5
3	1	3	+2	3	4	+1	3	4	+1	2	3	+1	+5
4	1	3	+2	3	3	+0	3	4	+1	2	3	+1	+4
5	2	4	+2	0	3	+3	1	3	+2	1	2	+1	+8
6	2	4	+2	1	1	+0	1	3	+2	2	3	+2	+6
7	2	3	+1	4	4	+0	1	3	+2	2	3	+1	+4
8	3	4	+1	4	4	+0	2	3	+1	3	4	+1	+3
9	3	4	+1	2	3	+1	2	4	+2	2	4	+2	+6

Vale la pena destacar a dos estudiantes. El número 5 tiene una mejora muy amplia. Sus respuestas iniciales estuvieron siempre en nivel bajo. Quizá por responder apresuradamente y sin mucho interés: de hecho, las preguntas eran cortas y vagas. En el cuestionario final parece que se esforzó más y, con mayor margen para mejorar ha conseguido una puntuación alta.

En el caso justamente contrario, el estudiante 8 tenía en general respuestas de nivel alto en el cuestionario inicial, con lo que su margen de mejora era pequeño, lo que se ha traducido en un salto pequeño en sus niveles de mejora.

## Evaluación del CIMA

### *Cuestiones a mantener y cambios a introducir*

En general este CIMA ha sido muy estimulante tanto para los alumnos como para mí. Tengo la sensación de que el mapa de contenidos y las preguntas clave están bien diseñados y se pueden mantener. Sin embargo, hay cosas que se deben mejorar. Por ejemplo:

- El diseño de las preguntas del cuestionario. Traté que fueran iguales al del mapa de contenidos, pero tendría que haberlas reescrito para que fueran más específicas y con más contexto. Tal como están generan respuestas vagas o generales. El análisis del cuestionario creo que no da suficiente información.
- En el debate de la primera sesión, creo que fue excesivamente dirigido por mí, tratando de que se siguiera la línea de pensamiento que yo tenía prevista. Hubiera sido mejor dejar más libertad. Quizá esto se pueda ir corrigiendo con la experiencia.
- La gestión del tiempo no fue óptima. Mientras que en la primera clase estuve corto de tiempo, ya que el debate no siempre era muy fluido, la segunda dejó quizá demasiado tiempo de trabajo autónomo a los estudiantes.

### *Incorporaciones a la práctica docente habitual*

El sistema de plantear las preguntas y dirigir el debate con las preguntas encadenadas, es muy interesante para ciertos temas en ciertas asignaturas. Es verdad que hay que diseñarlo bien, y no se puede improvisar, porque si no puede ser un gran fracaso y una pérdida de tiempo. También creo que este método ganará mucho con la experiencia del profesor. El cuestionario ayuda a iniciar el debate con las propias preguntas.

El método del caso práctico igual, aunque creo que es menos versátil que el anterior (se puede aplicar en menos temas/asignaturas). Ambos se pueden usar en conjunto, como en este CIMA, o por separado, con lo que se puede adaptar a las distintas circunstancias.

### *Principios didácticos para el futuro*

Gracias al desarrollo de este CIMA ahora tengo herramientas que me permiten componer un modelo didáctico diferente al tradicional.

Este modelo se centrará en las preguntas: las preguntas clave o preguntas activadoras de contenido. Tal como he experimentado, esas preguntas son el corazón del modelo. Sirven para activar los contenidos, dirigir el método, recabar las ideas y para evaluar a los estudiantes y a mí mismo. En las asignaturas de ciencias, estas preguntas son parte de la disciplina, por lo que sólo hay que buscarlas (Martínez-Tejada, 2018; Álvarez-Molina, 2019). Están en el centro de ese triángulo que hemos visto tantas veces. Las preguntas son la puerta que debemos enseñar a los alumnos, y que ellos deben cruzar por sí mismos.

Sin embargo, no es trivial conocer cuáles son las preguntas adecuadas. Para saberlo, hay que hacer un gran esfuerzo de síntesis, de destilación de cada tema. Afortunadamente tenemos la herramienta para conseguirlo: el mapa de contenidos.

Estas herramientas las usaré siempre que sea posible, porque habrá obstáculos, de los internos y de los externos, que habrá que superar con paciencia y experiencia.

### **Bibliografía**

- Álvarez-Molina, R. (2019). Una metodología investigativa para enseñar Magnetostática. En R. Porlán y E. Navarro (Coord.), *Ciclos de mejora en el aula año 2019: experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 42-64). Sevilla: Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Sevilla.
- Bain, K. (2005). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Valencia: Universitat de València.
- Bray, D.E. & McBride, D. (1992). *Nondestructive testing techniques*. NASA STI/Recon Technical Report A, 93, pp. 17573.
- De Alba, N. y Porlán, R. (2017). La metodología de enseñanza. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 37-54). Madrid: Morata.
- Feynman, R.P., Leighton, R. & Hutchings, E. (1985). *“Surely You're Joking, Mr. Feynman!”: Adventures of a Curious Character*. New York: WW Norton & Company.
- Finkel, D. (2008). *Dar clase con la boca cerrada*. Valencia: Universitat de València.
- García, E., Porlán, R. y Navarro, E. (2017). Los fines y contenidos de enseñanza. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla* (pp. 55-72). Madrid: Morata.
- Hellier, C.J. (2020). *Handbook of nondestructive evaluation*. New York: McGraw-Hill Education.
- Martínez-Tejada, M. (2018). Innovando en la enseñanza de las diferentes teorías que explican el enlace químico. En R. Porlán y Navarro, E. (Coord.), *Jornadas de formación e innovación*

*docente del profesorado* (pp. 1230-1248). Sevilla: Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Sevilla.

Rivero, A. y Porlán, R. (2017). La evaluación en la enseñanza universitaria. En R. Porlán (Coord.), *Enseñanza universitaria. Como mejorarla* (pp. 77-91). Madrid: Morata.