

EL ERROR COMO APRENDIZAJE Y MOTOR DE INVESTIGACIÓN (II)

CURSO 2019-20

Introducción al método aplicado en cursos anteriores:

El aprendizaje de los alumnos ha sido, es y será una constante preocupación del profesorado. Hay muchos factores que intervienen en el mismo como la motivación de los alumnos, sus conocimientos previos, la actualización de conocimientos del profesor, los medios empleados...etc.

Existen varias metodologías exitosas en el ámbito de las materias técnicas como la Enseñanza Basada en Proyectos (PBL Project Based Learning), metodología que se lleva desarrollando en este mismo Grupo de Investigación sobre Docencia en Electrónica de Potencia, GIDEP, desde el año 2013.

Pero si bien la PBL tiene muchas ventajas, también es cierto que es de difícil aplicación en aulas con un número elevado de alumnos, pues la carga de atención demandada por cada grupo y cada alumno es muy elevada, haciéndose casi imposible la impartición de la asignatura bajo ese enfoque tan positivo y práctico. Podríamos cifrar ese número en 10 alumnos como límite para poder seguir, apoyar y evaluar, de forma eficaz, el trabajo y aprendizaje de cada uno de los alumnos.

Por ello, es necesario una metodología sustitutiva al PBL que pueda ser llevada a cabo cuando el número de alumnos lo impida. Y una opción alternativa es lo que mostraremos en este documento: desgranar una metodología de enseñanza basada en el error, para impartir materias con carácter más técnico y /o científico e inocular al alumno el interés por los conocimientos y por la investigación en sí misma.

Como base de nuestra propuesta, revisamos y nos dirigimos a la historia de la humanidad, donde este enfoque ya se contempló desde el inicio de las civilizaciones, como método de aprendizaje válido. Condensemose ese conocimiento en las siguientes citas de grandes filósofos como Sócrates, Bacon o Kant, científicos como Einstein o Bram Stoker (más conocido por su novela, pero reputado matemático e y científico), innovadores como Henry Ford y Thomas Edison, deportistas como Michael Jordan o incluso políticos como Winston Churchill:

- “Para desembarcar en la isla de la sabiduría hay que navegar en un océano de aflicciones”. (Sócrates) que nos indica que el camino al conocimiento ha de atravesar por dificultades, fracasos y errores.
- “La ciencia humana consiste más en destruir errores que en descubrir verdades” (Sócrates). Incide en que el conocimiento proviene de la resolución de errores.
- “Aparece antes la verdad del error que la de la confusión” (Francis Bacon, *Novum Organum Liber secundus,XX*) que reclama el valor del conocimiento a través del error.

- “Aquellos que se aprende más sólidamente y que se recuerda mejor, es aquello que se aprende por sí mismo”. (Kant) lo que nos recuerda que la resolución de errores por uno mismo es la mejor forma de aprendizaje.
- “El fracaso es simplemente la oportunidad de empezar de nuevo pero esta vez más inteligentemente” (Henry Ford) que enuncia cómo el aprendizaje proviene del fracaso previo.
- “No he fallado. Sólo he encontrado 10.000 formas que no funcionan” (Thomas Edison). Extraer conocimiento de los errores como forma de aprovechamiento.
- “He fracasado una y otra vez en mi vida: Por eso es por lo que triunfe”. (Michael Jordan). Nos recuerda la persistencia y la admisión del fracaso como un camino al éxito
- “Aprendemos del fracaso, no del éxito”. (Bram Stoker). No es necesario hacer comentarios por lo claro del mensaje.
- “Éxito es la habilidad de ir de un fracaso al siguiente sin perder el entusiasmo” (Winston Churchill). O cómo admitir que el éxito puede que no llegue nunca aparentemente, aunque sea sólo el simple hecho de continuar, el triunfo real.

Ya en nuestros días, este aprendizaje por medio del error se trata en varios medios científicos, como por ejemplo, en la revista “Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, año 2010: Vol.: 28 Núm.: 1, en el artículo “Error y conocimiento: un modelo filosófico para la didáctica de la ciencia de *Jordi Vallverdú, Mercè Izquierdo i Aymerich*

O también en el libro “El Aprendizaje: Requisitos Y Factores. Operaciones Cognitivas. Roles De Los Estudiantes”. del Dr. Pere Marquès Graells, 2001 (última revisión: 9/08/11 Departamento de Pedagogía Aplicada, Facultad de Educación, UAB) donde precisan que “Para tener la necesidad de aprender hay que encontrar cosas que no van como quisiéramos... y para cambiarlas debemos aprender.”

Por lo tanto, vamos a contemplar el error como una oportunidad de aprendizaje valiosísima, donde se da el clima para la reflexión de los conocimientos y que además aporta un ambiente de desinhibición: el alumno se desprende de sus temores a equivocarse, pues son los sistemas propuestos los que no funcionan y él es un elemento activo que puede aportar la solución.

Incido en este cambio de perspectiva: no es el alumno el que puede equivocarse en un mundo de exactitudes y certezas presentadas por su profesor en la asignatura, sino que es el alumno el que puede aportar soluciones y conocimientos a sí mismo y a sus compañeros.

Así pues, hay que aceptar el error para aprender de él y no considerarlo un mal “per sé” y presentar al profesor y al alumno que:

- El error es un elemento esencial para el aprendizaje.
- Es positivo crear entornos que generen errores en los estudiantes para que haya reflexión profunda y orientación para el aprendizaje.
- El miedo al error, puede provocar que los retos propuestos por el profesor al alumno se perciban como amenazas y no se aprovechen como oportunidades de aprendizaje,

Recordatorio del planteamiento del problema

Los alumnos no aprenden todo el conocimiento posible de las prácticas dirigidas, pues nos encontramos con los siguientes casos:

1. La práctica proporciona unos circuitos a implementar y dirige una serie de operaciones sobre los mismos. Todo funciona correctamente o con pequeños desvíos de los resultados. La tarea del alumno es simplemente montar y cotejar, con lo que su interés se centra en terminar los pasos a seguir y realizar el informe. Su interés no es resultado del contenido de la práctica, si no del objetivo final que es su puntuación.
2. La práctica proporciona unos circuitos a implementar y dirige una serie de operaciones sobre ellos. No siempre funciona correctamente, ya sea por errores de los alumnos o por defectos del material de prácticas. La tarea del profesor se ciñe a resolver los problemas y los alumnos pierden interés por la tarea pues empiezan a pensar que utilizan material defectuoso, obsoleto o desgastado y que no van a terminar en el periodo de tiempo estipulado.

Metodología seguida en el curso 2018-19

Asignatura en la que se realizó la experiencia docente:

- Electrónica analógica avanzada de 1er curso del Master en Electrónica Industrial y Automática. Escuela de Ingenierías Industriales. Primer cuatrimestre, 5 alumnos.

Visto lo anterior, como prevención de los posibles problemas presentados, durante el curso 2018-19 se especificó una propuesta de metodología de enseñanza aplicable a las prácticas de laboratorio de una asignatura de tipo técnico.

Los alumnos realizaron una serie de prácticas en laboratorio basándose el proceso siguiente:

1. Planteamiento de problema y circuito a resolver: el alumno primero ha de consultar la teoría impartida en clase para resolver el circuito.
2. Comprobación de la solución mediante software de simulación: Una vez resuelto, lo captura y simula en su ordenador, con lo que ya puede ver que formas de onda, valores de las magnitudes...etc. va a obtener y así, si su solución es correcta.
3. Realización del montaje electrónico real simulado en el punto 2 en el que el alumno comprueba que todo funciona tal cual el software ha predicho. Este punto es el más crítico, pues se pueden producir los siguientes factores que hacen que el resultado no coincida con los de la simulación previa:
 - a. Errores en el cableado
 - b. Errores en los componentes utilizados
 - c. Errores en los ajustes de los equipos de señales, alimentación o medida.
 - d. Componentes o conexiones defectuosas

Cualquiera de los puntos anteriores provocará que las señales no sean las correctas o que simplemente no aparezcan. Es en estos momentos, cuando el alumno suele solicitar ayuda al profesor y en el que esta ayuda debe ser dirigida a que sea el propio alumno el que encuentre el problema.

La estrategia de ayuda del profesor al alumno es tal que provoca en el alumno un cambio de interés: Ya no se trata de terminar la práctica con un paso que, previsiblemente iba a ser trivial al conocer con antelación los resultados: se incentiva el deseo de investigar el problema, resolverlo y por lo tanto se provoca un cambio en su atención para pasar de estar ésta enfocada en terminar el trabajo de la práctica, a dirigir su interés en saber por qué el sistema no funciona. Es un cambio de reto sorpresivo.

En esta premisa anterior, es importante que el profesor tenga cuidado con que el error no provoque un rechazo en el alumno por el funcionamiento defectuoso del sistema y que este no lo achaque a medios inadecuados, defectuosos o de baja calidad. Esto se puede conseguir de dos formas:

- Revisando con anterioridad los equipos de prácticas para eliminar dichos errores. Esto no siempre es posible.
- Realizando comparaciones y similitudes con situaciones reales que el profesor haya vivido en sus proyectos de investigación: es decir, se debe normalizar el malfuncionamiento de un equipo hardware como una situación que ocurre con muy alta frecuencia.

Por lo tanto, si la aparición de un error y una adecuada dirección puede provocar mayor atención y por lo tanto, un mayor aprendizaje en el alumno, es entonces una consecuencia directa, el que nos proponemos provocar errores en la actividad programada.

También parece correcto que los errores no deben ser aleatorios, si no dirigidos y secuenciados en función de su interés y dificultad.

Clasificación de los errores:

Hemos considerado pues, una escala de errores en función de la complejidad:

1. **Errores no forzados:** aquellos que los alumnos, en el conexionado o el propio material de prácticas, introduzcan involuntariamente y que escapan al control del profesor. En estos casos, el profesor podrá enseñar el procedimiento de revisión ordenado de todo el sistema: alimentación, generación de señales, comprobación de los equipos de medida, seguimiento de señales desde la entrada hasta la salida. Es deseable que estos errores aparezcan en la menor cantidad posible.
2. **Errores de manipulación de hardware:** serían aquellos errores forzados por el profesor mediante la incorporación de un elemento defectuoso en el sistema, como por ejemplo una resistencia de un valor diferente al declarado, una resistencia con mala conexión en sus bornes, un cable con conexiones espúreas...etc.
3. **Errores conceptuales medios:** errores que, una vez comprobado que todo el hardware es correcto, el alumno sólo puede detectar si conoce al tema con cierta profundidad. Entre estos errores estarían el hacer funcionar un sistema fuera de su rango operacional, introduciendo señales no apropiadas ya sea en frecuencia, magnitud o en ambas.
4. **Errores conceptuales de detección compleja:** Estos errores deberían hacer reconsiderar al alumno toda la teoría recibida sobre el tema, haciéndole reflexionar de tal forma que llegue a ser un "experto" en ese sistema. Este tipo de error puede provocarse al hacer funcionar un elemento del sistema fuera de su rango operacional al faltarle elementos auxiliares o sustituyendo un elemento por otro similar, pero de distinta respuesta en frecuencia.

Proceso: Aparición y frecuencia de los errores forzados

Una vez vistos los errores tipo que podemos encontrar en el punto anterior, debemos pautar la aparición de los mismos para un mejor aprovechamiento del método. Describimos pues, el

siguiente proceso de introducción de errores en el caso concreto del curso 2018-19 con 5 prácticas de laboratorio más proyecto final:

- Práctica 1: No se introducen errores. Consideramos que no es conveniente, que en la primera práctica el alumno tenga que afrontar varios retos de forma simultánea: dominio de la materia que acaba de comenzar a estudiar, manejo de los aparatos de laboratorio, errores no forzados...
- Práctica 2: se introduce un error forzado del tipo 2: error de manipulación del hardware. Este es un tipo de error que se puede detectar de forma sencilla pero que implica en el alumno un aumento del interés al ser sorprendido por una anomalía que hace que los resultados previstos del sistema se vean alterados.
- Práctica 3: Igual al caso anterior, se introduce un error de tipo 2. En este caso, aun siendo el mismo tipo de error, se introduce un caso diferente al de la anterior práctica.
- Práctica 4: Se introduce un error del tipo 3: error conceptual medio.
- Práctica 5: Se introduce nuevamente un error del tipo 3. En este caso, aun siendo el mismo tipo de error, se introduce un caso diferente al de la anterior práctica.
- Proyecto: Se introduce un error de tipo 4, un error conceptual de detección compleja, pues en este momento el alumno ya ha experimentado la aparición, detección y resolución de errores de diverso tipo y por lo tanto ya posee un cierto grado de experiencia por lo que no se va a sorprender de la existencia de los mismos. Además, ya ha recibido prácticamente todos los conocimientos importantes de la materia.

Hay que tener en cuenta que en todas las prácticas podrán surgir nuevos errores no forzados del tipo 1 que afecten y se combinen con los introducidos por el profesor, con lo que los casos se pueden complicar más de lo previsto. Por ello no aconsejamos un escalado abrupto de la dificultad y/o número de errores forzados en cada caso y una revisión constante del material de prácticas.

Metodologías para la resolución de errores.

En orden a proporcionar herramientas al alumno, más allá de los conocimientos propios de la asignatura, enumeramos a continuación un simple procedimiento de resolución:

1. Simulación inicial del circuito en bajo software específico.
2. Procedimiento de revisión ordenado de todo el sistema: comprobación de la alimentación, generación de señales, chequeo de los equipos de medida, seguimiento de señales desde la entrada hasta la salida.
3. Identificación correcta de cada componente.
4. Comprensión del objetivo del circuito.
5. Comprensión de la naturaleza y función de cada uno de los componentes.

Para poder realizar estos pasos, es necesario un equipamiento modesto, ya presente, en los laboratorios como son polímetros, fuentes de alimentación, fuentes de señales y osciloscopios.

Resultados curso 2018-19

Este método, como ya se comentó en la memoria del 2018-19, obtuvo unos resultados, a mi parecer, brillantes pues el interés de los alumnos por las prácticas hizo que no hubiera ni un solo caso de ausencias al laboratorio y que se formasen coloquios muy interesantes entre profesor-alumnos, no sólo sobre las prácticas, si no sobre temas que iban surgiendo a raíz de las mismas. Era tal el interés, que cuando los laboratorios eran la última clase del día, los debates y coloquios duraban hasta 45 y 60 minutos más: como docente puedo definir esas clases como altamente gratificantes.

Metodología seguida en el curso 2019-20

Asignatura en la que se realizó la experiencia docente:

- Electrónica analógica avanzada de 1er curso del Master en Electrónica Industrial y Automática. Escuela de Ingenierías Industriales. Primer cuatrimestre, 4 alumnos.
- La metodología no se ha visto afectado por la pandemia del SARS-Covid-19.
- Enseñanza presencial al 100%

A pesar de los buenos resultados obtenidos en el curso anterior, en el acabado curso 2019-20 se introdujo un cambio en la metodología en aras de su mejor conocimiento y eficiencia.

Ello vino provocado por las siguientes reflexiones:

- ¿Dónde reside el éxito del mismo? ¿En el concepto del error como aprendizaje o en el método utilizado que se basa en el mismo?
- Si es por el método utilizado: ¿Es igualmente de eficaz el método si el alumno está previamente avisado? Es decir, ¿Es la aparición sorpresiva del error el factor fundamental que despierta un mayor interés en el alumno?
- O por el contrario ¿Es el reto de resolver problemas, la propia existencia de errores, el factor principal?

Ante esta duda, se optó por realizar un cambio en la metodología que descartase alguno de los dos factores, siendo este, el de la sorpresa, el factor más fácilmente descartable y manejable.

Desarrollo del método modificado en el curso 2019-20

Así pues, desde el primer día del curso 2019-20, se expresó a los alumnos que durante las prácticas se iban a encontrar con errores, tanto en materiales como en concepto. Este mensaje fue bien acogido como parte de un reto personal en la relación profesor- alumno, con ánimo de superación.

Este mensaje se iba repitiendo a lo largo de cada una de las prácticas, con los comentarios concretos y específicos de cada una de ellas. Así pues, los alumnos se centraban e iban resolviendo los problemas sobre los que ya estaban avisados.

Las consecuencias de este cambio fueron las siguientes:

- Cualquier resultado no coincidente con lo esperable se achacaba a la existencia de un error provocado.

- Errores de funcionamiento provocados por fallos reales de conexionado, eran achacados por los alumnos a la existencia de errores conceptuales provocados en el diseño de la práctica por lo que se enredaban en causas muy complejas y en resoluciones muy imaginativas, pero de escasa aplicación en su caso: entraban en un camino sin salida, consumiendo excesivo tiempo.
- Errores achacables al propio concepto de la práctica se tomaban como objetivo principal de la tarea, por lo que el alumno prestaba menos atención a las tareas programadas de la práctica.
- El error se convirtió en una distracción más que en un aliciente por investigar.
- Las prácticas programadas quedaban sin terminar al centrarse los alumnos en los posibles errores y no en las propias tareas de las prácticas.

Conclusiones curso 2019-20

Del éxito del curso 2018-19 se pasó a una discreta satisfacción, tanto en profesor como en estudiantes:

- No hubo debates ni coloquios de interés si no explicaciones exhaustivas de causas espurias propuestas por los alumnos a los errores provocados o a lo que ellos consideraban como tales.
- Se dedicaba demasiado tiempo a la búsqueda de errores ya fueran reales o no y en cambio, no dedicaban atención a las tareas principales de las prácticas.
- Como consecuencia de lo anterior, la mayoría de las prácticas no se terminaban en el tiempo predeterminado.

Por ello, como conclusiones, una vez terminado el curso, podemos decir que:

- El factor sorpresa de la aparición del error es vital para el éxito del método
- El “compartir” previamente esta metodología con los alumnos es contraproducente para ellos.
- El diseño de la metodología inicialmente definida y utilizada en el curso 2018-19 es correcta.

Acogiendo con relativa satisfacción el haber comprobado la bondad del método diseñado inicialmente, con las conclusiones anteriores extraídas de la experiencia del curso 2019-20, aparece un nuevo problema: si se aplica esta metodología a una asignatura que no sea de último curso, los alumnos que ya hayan pasado por ella, podrán poner en aviso a los nuevos estudiantes de la misma, lo que quitará el factor sorpresa que tanta importancia hemos visto que tiene.

Por ello queda pendiente el diseñar procesos que aseguren la confidencialidad del método entre los estudiantes de distinto año. Esta será la fase a desarrollar en el curso 2020-2021, si las circunstancias de seguridad sanitaria lo permiten.