



Una formación de calidad
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias
15 al 18 de Septiembre de 2015

ABORDE DE PROYECTOS INTEGRADORES EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON METODOLOGÍA CDIO

Hernán Paz Penagos

Escuela Colombiana de Ingeniería
Bogotá, Colombia

Resumen

La visión de la *Iniciativa CDIO*, que enmarca la formación de ingenieros de pregrado en el contexto de concebir, diseñar, implementar y operar sistemas y productos del mundo real, ha motivado la investigación de nuevas estrategias didácticas de enseñanza de la ingeniería en Colombia. Gran parte de las experiencias realizadas buscan articular un plan de estudios en torno al apoyo mutuo entre disciplinas, desarrollar competencias profesionales, habilidades personales e interpersonales en el estudiante. En este contexto, se presenta un estudio de casos instrumental y múltiple de tres estudiantes de último semestre de ingeniería electrónica que resuelven problemas *sobre diseño y desarrollo de un canal de respaldo satelital* con el abordaje de proyectos integradores y metodología CDIO.

El propósito fue resolver la pregunta de investigación *¿Qué aportes hace un proyecto integrador de nivel avanzado al desarrollo de aprendizaje autónomo con responsabilidad y de mejoramiento en abordajes interdisciplinarios de los estudiantes considerados en el estudio de caso?* Las hipótesis de trabajo fueron: **Hipótesis 1:** Podría ser que los abordajes interdisciplinarios propiciados a través del proyecto integrador, movilice en los estudiantes –considerados en el estudio de casos- nuevos recursos y esquemas de trabajo colaborativo. **Hipótesis 2:** Se creería que el trabajo de laboratorio implicado en el desarrollo del proyecto integrador, realizado en pequeños grupos y modulado por el profesor, contribuye en el aprendizaje autónomo con responsabilidad de los tres estudiantes.

La intervención didáctica se centró en el estudiante, estuvo orientado por el profesor, como facilitador del proceso, y propició la emergencia del sujeto bien informado para favorecer su aprendizaje autónomo con responsabilidad y la integración de conceptos fundamentales de su propio saber con otros saberes implicados en resolución del problema. Los resultados evidencian mejoras en aprendizaje autónomo con responsabilidad y avances en abordajes interdisciplinarios de los estudiantes. No obstante,

los modos propios seguidos por los mismos en la resolución del problema permitieron descubrir que la ausencia de un mayor nivel de conciencia en sus procesos de aprendizaje y regulación del mismo no es independiente, y que los primeros constituyen una limitación importante en el momento de resolver un problema.

Palabras clave: proyecto integrador - CDIO; aprendizaje autónomo; abordajes interdisciplinarios

Abstract

The sight of the CDIO Initiative, framing the undergraduate engineering education in the context of conceiving, designing, implementing and operating systems and real-world products, has led to research into new teaching strategies of engineering in Colombia. Much of the experiences seek to articulate a curriculum around the mutual support between disciplines, develop professional skills, personal and interpersonal skills in the student. In this context, it presents a study of case, instrumental and multiple, of three students last semester of electronic engineering that solve problem: "design and development of a satellite support channel with the address of integrating projects and CDIO methodology".

The aim was to solve the research question ¿What contribution does an integrating project of advanced level to develop independent learning with responsibility, and improvement in interdisciplinary broach of students considered in the case study? Working hypotheses were: Hypothesis 1: Could to be that interdisciplinary board fostered through the integration project, mobilizes in the students -considered in the study of cases- new resources and collaborative work schemes. Hypothesis 2: It is possible that the laboratory work involved in the development of the integration project, conducted in small groups and modulated by the teacher, contributes in autonomous learning to the three students.

The educational intervention focused on the student, he was guided by the teacher as facilitator of the process, and led to the emergence of the subject well informed to promote their independent learning with responsibility and the integration of basic concepts of its own knowledge with other knowledge involved in problem resolution. The results show improvements in autonomous learning responsibly and advances in interdisciplinary approach of students. However, the Eigen modes followed by them in the resolution of the problem led to the discovery that the absence of a higher level of consciousness in their learning processes and regulation of it is not independent, and that the former is an important limitation in time to solve a problem.

Keywords: *integrating project - CDIO; autonomous learning; interdisciplinary approach*

1. Introducción

Actualmente se observa fragmentación por todas partes: organizaciones jerarquizadas, distribución del tiempo por cronogramas, fronteras que limitan y confinan espacios, profesionales especializados y desconectados, conocimiento fragmentado en disciplinas, unidades y lecciones aisladas, sin posibilidad de ver la relación dentro y entre ellas y entre éstas y la realidad que los estudiantes viven. Todo esto tributa a una educación para la fragmentación

Es sabido que una enseñanza concebida bajo la forma de disciplinas aisladas difícilmente puede alcanzar objetivos que no sean los cognitivos que le son específicos, a menudo distantes de una visión sistémica y compleja. Frente a este panorama, surgen la iniciativa CDIO y los proyectos integradores –en adelante PI-, que contemplan la enseñanza de conceptos fundamentales de la disciplina y su integración, el aprendizaje activo e independiente basado en trayectorias de aprendizaje y el trabajo interdisciplinario para la concepción-diseño-implementación y operación de productos, procesos y sistemas de valor agregado en la ingeniería moderna.

Contextualizados en estas estrategias, se examinaron los resultados de autoevaluación relacionados con procesos académicos (Factor 4), que fueron realizados por el programa de Ingeniería electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO para la acreditación de alta calidad en los años 2006, 2010 y 2014. De esta pesquisa se identificó rasgos de una enseñanza/aprendizaje conceptual y procedimental, algunas veces, descontextualizados y, la gran mayoría de veces, desarticulados por semestre y dentro del mismo curso. En este marco de referencia y teniendo en cuenta que el proyecto de formación de ingeniería electrónica dispone de diversas formas de acceder al conocimiento y, a la vez, establece los criterios académicos para regular las relaciones entre los profesores y los estudiantes, se propuso introducir PI graduales por núcleos de formación del estudiante; así: primer PI a un nivel básico: PI-NB, para cuarto semestre; segundo PI a un nivel intermedio: PI-NI, para séptimo semestre y tercer PI con nivel avanzado: PI-NA, para decimo semestre.

El estudio de caso que se presenta en este artículo corresponde a la resolución del problema planteado arriba y que fue clasificado como un PI-NA. Estos PI, pretenden además de trabajo autónomo con responsabilidad y avances en abordos interdisciplinarios, la apropiación de competencias para el modelamiento, diseño e implementación del artefacto o sistema que sea alternativa de solución al problema planteado, incluyendo habilidades de simulación, programación, análisis e integración necesarios en un estudiante de último semestre de ingeniería electrónica. Se espera como producto final hardware y software integrados en un dispositivo. De igual manera, avances en trabajo autónomo con responsabilidad y mejora en abordos interdisciplinarios de los tres estudiantes considerados en el estudio de casos.

2. Marco de referencia

Proyecto integrador: parte de la hipótesis que los individuos desarrollan habilidades de interpretación y fomenta pensamiento hipotético deductivo a través de la integración de conceptos y socialización, más que de instrucción. Se perfila como una estrategia de enseñanza en ingeniería, para la definición de acciones formativas; en la cual, el estudiante, centrado en la curiosidad como elemento motivador, se inicia en procesos de búsqueda, indagación, integración de conocimientos fundamentales y construcción de trayectorias de aprendizaje para enfrentar la incertidumbre generada por el conocimiento de la realidad. En esta perspectiva, el PI tiene gran potencialidad holístico y favorece el desarrollo de pensamiento diverso y complejo.

Los principios básicos de la estrategia se centra en el respeto la autonomía del estudiante, quien revisa los conceptos fundamentales involucrados en el problema y los integra con ayuda del profesor, en el momento de concebir y diseñar una alternativa de resolución; así mismo, incorpora sus conocimientos previos y la propia experiencia de trabajo en la dinámica de resolución; este principio potencia su autoestima, la toma de conciencia de lo que es capaz, sus hábitos de independencia, de selección, de emprender actividades y de tomar decisiones razonadamente por sí mismo; además les da la posibilidad de identificar otras alternativas de epistemologías en torno al problema que enfrentan y del cual aprenden. El conocimiento se afianza mediante el reconocimiento y aceptación de los procesos sociales y de la evaluación de las diferentes interpretaciones individuales del mismo fenómeno. Estos principios se inspiran en aportes de teorías de aprendizaje que han mostrado ser eficientes en la enseñanza de las disciplinas. Ellas son la estructura de las perspectivas de Selman (1980), la teoría pedagógica interpretativa de Habermas (1976), la teoría psicogenética de Piaget (1973), el enfoque socio constructivista del aprendizaje de Vigotsky (1979), la psicología educativa de Ausubel, Novak y Hanesian (1996).

Para su realización en el aula y el laboratorio se propone: 1. Secuencia y gradualidad: la solución obtenida por los estudiantes puede usarse como un nuevo bloque de conocimiento y así sucesivamente. 2. Integración de conceptos: los estudiantes desarrollan las trayectorias de aprendizaje para interconectar los bloques de conocimiento y así obtener una solución al problema dado. 3. Información durante la conexión de los bloques: el estudiante recibe la retroalimentación del maestro durante el proceso de aprendizaje. 4. Interacción dinámica entre los actores del proceso formativo y el contexto de actuación, mediadas por búsquedas planificadas y sistemáticas. 5. Trabajo en equipo y relación igualitaria entre los sujetos. 6. Involucramiento que permite comunicación, crecimiento y descubrimiento de una pluralidad de horizontes que se interrelacionan a través de la experiencia. 7. Confrontación de mundos (del estudiante, del profesor) posibilitando una aproximación de contextos diferenciados y procesos de resolución de problemas a través de un trabajo colaborativo.

Metodología CDIO: es un enfoque de formación en ingeniería propuesto por la Accreditation Board of Engineering and Technology (Crawley *et al.*, 2007), cuyo propósito es comprender y saber integrar los fundamentos técnicos, liderar la creación y

operación de nuevos productos, procesos y sistemas y, finalmente, entender la importancia y el impacto estratégico de la investigación y el desarrollo tecnológico en la sociedad (Berggren, *et al.*, 2003). Tiene como marco de referencia, el ciclo de vida del producto, proceso o sistema, que va desde la concepción hasta la operación. Cuenta con las fases que se muestran en la siguiente figura.

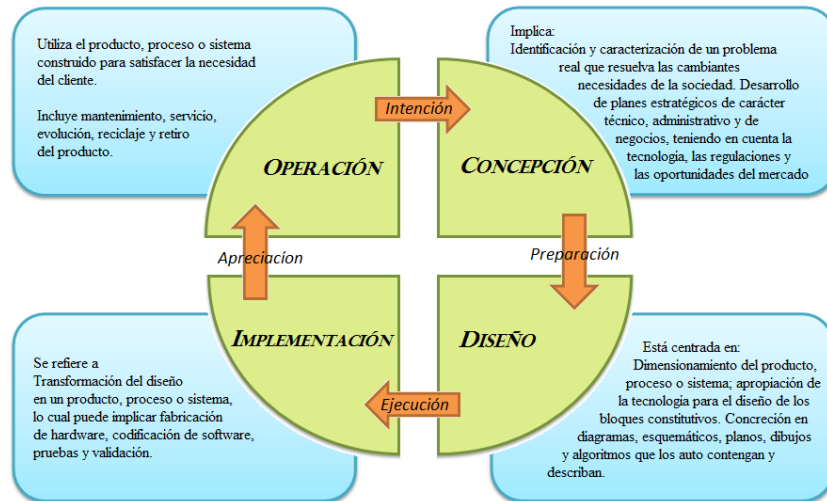


Figura No. 1. Fases del enfoque de formación en ingeniería CDIO

3. Metodología

El estudio de casos se llevó a cabo en la Escuela Colombiana de Ingeniería JULIO GARAVITO durante seis meses (1 junio al 31 de noviembre del 2014). Los informantes del estudio fueron tres estudiantes de décimo semestre de ingeniería electrónica. Sobre las experiencias previas de desarrollo de proyectos grupales de los mismos estudiantes se puede afirmar que se reducen al desarrollo de trabajos prescriptivos o de ejercicios problemas. Como parte de la metodología de trabajo para el desarrollo del PI, se establecieron tres fases: 1) Intención y preparación, 2) Ejecución y 3) Apreciación, que estuvieron en correspondencia con los objetivos específicos de la investigación y la metodología CDIO, estas fueron: en la primera se hace una apropiación teórica sobre tecnologías de comunicación de radio celular (GPRS) y satelital de órbita baja, necesaria para la comprensión y resolución del problema enunciado arriba. En la segunda, se modela, diseña, simula y construye el hardware de forma modular, de igual manera, se programa el software y se integran; en el transcurso de esta fase se evaluó la conformidad/no conformidad del resultado parcial obtenido, lo que permitió ajustar el desarrollo durante el proceso. En la última, se puso en operación el dispositivo, y se evaluó el trabajo realizado en relación con objetivos previstos.

Se observaron y analizaron los procesos de resolución desde el punto de vista de aprendizaje autónomo y abordos interdisciplinarios de los mismos estudiantes, a partir de la contrastación entre sus verbalizaciones y actuaciones (Cómo actuaron), con el fin de indagar e interpretar los cambios en dichas dimensiones. Para orientar la transcripción

de las improntas de observación del audio y video, hacia el análisis y la interpretación comprensiva de las verbalizaciones y actuaciones de interés para el investigador, se estableció un formato de codificación, que contiene variables, categorías, intencionalidad e indicadores que se muestran en el anexo 1.

La estructura general que siguieron las actividades PI para la resolución del problema se muestra en la siguiente figura.

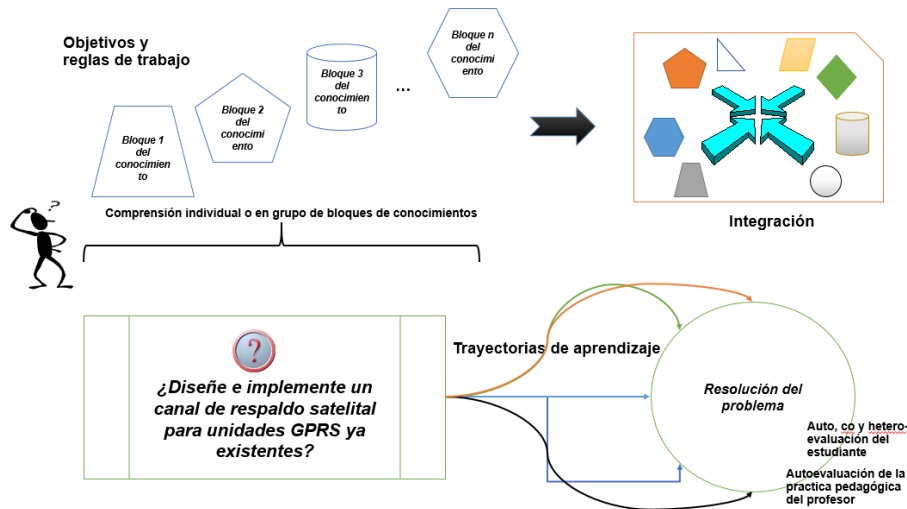


Figura No. 2. Estructura general de una actividad PI.

4. Resultados

Los tres estudiantes hicieron su representación del problema para comprenderlo y finalmente resolverlo. Este se hizo mediante redes de relaciones en las cuales se integran conocimientos previos sobre señales y sistemas de comunicación pasa banda, teoría de la información y medio de transmisión inalámbrico. Del ejercicio anterior emergieron los conceptos como canal de comunicaciones, satélites de órbita baja, Globalstar y módem. Los mismos estudiantes demostraron recursividad para integrar conceptos con el uso de técnicas facilitadoras como el listado de atributos, el mapa conceptual, diagramas, esquemas y otros; en éstos se registraron términos, conceptos, patrones y conexiones con los cuales se buscaba reconvertir ideas abstractas y vagas en concretas, útiles y realizables, que integradas a las nuevas, contribuyeran en la comprensión y resolución del problema. Para realizar esta tarea, los estudiantes desplegaron capacidades cognitivas genéricas: interpretación, comprensión, análisis, transferencia y comunicación de la información; pensamiento relacional; formas de razonamiento: inductivo analógico e hipotético y conocimiento estratégico, sistematizado en dos procesos básicos: *trabajo hacia atrás*, mediante el uso de un problema parecido, utilizando los conocimientos anteriores que se relacionaban con el problema.

En los procesos de representación y resolución del problema mediante PI-NA se observó cómo los estudiantes considerados para el estudio de casos hacen abordos interdisciplinarios durante las fases comprensiva y resolutoria del problema para desarrollar

representaciones, establecer condiciones, desarrollar inferencias, organizar razonamientos, recuperar esquemas de resolución, diseñar estrategias y confrontar diferentes supuestos y enfoques de resolución, y se obtuvo los siguientes hallazgos: Al principio se identificó en los tres estudiantes un tratamiento muy mecánico de la resolución del problema, al partir siempre de datos, que le impide hacer un análisis cualitativo y holístico del problema planteado. Sólo piensa en operaciones. No explora otros enfoques, como el sistémico, implicados en la resolución de problemas y que son necesarios en ingeniería para hacer abordos interdisciplinarios en contexto con propósitos de hacer transferencia de información para enriquecer el marco teórico o metodológico para la resolución del problema. Al final de la experiencia académica del PI-NA, los estudiantes considerados para el estudio de casos se arriesgaron con el propósito de trascender el campo del conocimiento de las comunicaciones de radio. Revisaron algunos conceptos sobre regulación, normatividad, emisiones electromagnéticas. Sin embargo, no lograron crear un nuevo mapa cognitivo común con otras disciplinas, tampoco avanzaron hacia un marco epistémico amplio que les permitiera integrar conceptualmente las diferentes orientaciones de sus análisis, perspectivas o enfoques. Una razón por la cual los estudiantes avanzaron lentamente en abordos interdisciplinarios, se debió a que la sistematización e integración de lenguajes, epistemologías, términos, datos y procedimientos con otras disciplinas representaban serias dificultades para las cuales los estudiantes no estaban preparados.

De igual manera, la autonomía de los tres estudiantes, en estos procesos, se puso de manifiesto en la independencia del pensamiento y madurez para presentar resultados parciales del proyecto, elaborar informes, diseñar e implementar hardware, programar software, recoger y analizar los resultados y compararlos para la toma de decisión sobre la solución óptima del problema. La resolución del problema en la modalidad participativa y colaborativa: grupal e intergrupal, propiciada a través del PI estimularon estrategias auto-regulativas que tributaron en autonomía con responsabilidad, en la medida en que les permitió a los estudiantes revisar, comparar, controlar y evaluar las estrategias y las soluciones, en un proceso de interactividad e interdependencia positiva. Así mismo, se corroboró las afirmaciones de González-Pianda, *et al.* (1999), Miller, *et al.* (1993) y Zimmerman, *et al.* (1992) sobre que la implicación activa del sujeto en el proceso de aprendizaje aumenta cuando se valora sus tareas, se confía en sus capacidades y se diseñan actividades que crean expectativas de autoeficacia y de las cuales se responsabiliza el estudiante.

Durante el desarrollo de la investigación, se observó una buena actitud de los estudiantes frente a actividades que privilegian su participación, y mucha motivación cuando se ven inmersos en procesos de integración de conocimientos, elaboración y defensa de ideas en la resolución de un problema. La idea según la cual es necesario acumular muchos y variados conocimientos va quedando atrás, lo importante es saber cómo aprenderlos en el momento en que se necesiten, saber dónde encontrarlos y cómo obtenerlos, pues el conocimiento por sí mismo no es el objetivo final, éste tiene sentido en la medida de su integración, aplicación y vigencia. Como parte de los resultados de la estrategia PI-NA aplicada a tres estudiantes considerados para el estudio de casos y guiados por la iniciativa CDIO, en el anexo 2 se muestra algunas evidencias metodológicas y de logros técnicos alcanzados en el desarrollo del proyecto.

5. Conclusiones

De acuerdo con los resultados, la motivación continua del PI-NA, la facilitación de recursos y medios, así como los refuerzos benefician el aprendizaje autónomo con responsabilidad y estimulan los abordos interdisciplinarios. La idea fundamental que subyace a estos hallazgos es que la dimensión afectiva interacciona significativamente con la dimensión motivacional en la determinación del esfuerzo que el estudiante esté dispuesto a emplear para la puesta en marcha del aprendizaje autónomo y trabajo interdisciplinario, con el objeto de tener éxito en la tarea. A partir del estudio de las experiencias de la motivación, ejecución y dificultad del estudiante al desarrollar un PI-NA, es posible obtener información complementaria de su aprendizaje autónomo y trabajo interdisciplinario, ya que el conocer las sensaciones del resolvente antes, durante y después del desarrollo del PI-NA es posible configurar un proceso global de comprensión y resolución, en el que no se tiene en cuenta sólo la ejecución real del problema sino también la experiencia metacognitiva del resolvente.

Se evidencian que, a pesar del entorno social adverso en el cual el pensamiento sistémico e integrador no es un proceso habitual, los estudiantes desarrollan mejor su comprensión conceptual, se preparan mejor para incorporarse a un entorno laboral y aprenden más acerca de la naturaleza de la ingeniería, cuando integran conceptos y metodologías aprendidas a sus nuevos aprendizajes y establecen relaciones de construcción con otras disciplinas (Paz, 2011); sin embargo, sostiene el autor de este artículo, que es fundamental que el profesor reflexione sobre sus prácticas pedagógicas de manera pueda retroalimentarse primero él, antes de hacerlo con el estudiante.

Frente a la resolución de un problema planteado mediante un PI-NA es necesario tener en cuenta las trayectorias de aprendizaje de quienes la enfrentan, pues a partir de ellas (conocimientos, experiencias, tipo de inteligencia, creatividad...) se determina en gran medida el abordaje y la reflexión que la situación suscita y por consiguiente, el curso de acción a seguir frente al obstáculo que enfrenta(n) el (los) estudiante(s) o grupo(s) que la aborda(n).

6. Bibliografía

- Ausubel, D.P., Novak, J.D. y Hanesian, H. (1976). *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Berggren, K.F., et al., (2003). CDIO: an international initiative for reforming engineering education. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 2(1), 49-52.
- Crawley, E.F. (2001). *The CDIO Syllabus: a Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education*. Tech. rep., Massachusetts Institute of Technology.
- González-Plenda, J., et al., (1999). Comprensión de problemas aritméticos en alumnos con y sin éxito. *Psicothema*, 11(3), 505-515.
- Habermas, J. (1976). *Legitimation Crisis*. Londres. Heinemann.

- Miller, R., Behrens, J. & Greene, B. (1993). Goals and perceived ability: impact on student valuing, self-regulation and persistence, *Contemporary educational psychology*, 18, 2-14.
- Paz, H. (2011). How to develop metacognition through problem solving in higher education? *Revista de Ingeniería e Investigación*, 31(1), 75-80.
- Piaget, J. (1973). *Psicología y pedagogía*. Barcelona: Editorial Ariel.
- Selman, R.L. (1980). *The growth of interpersonal understanding: Developmental and clinical analyses*. New York: Academic Press.
- Vigotsky, L. (1981). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores* (1ª ed.). México: Editorial Grijalbo.
- Zimmerman, B., Bandura, A. y Martínez-Pons, M. (1992). Self-motivation for academic attainment, *American educational research journal*, 29, 663-76.

Sobre los autores

- **Hernán Paz P.**, Ph.D. en educación. Magíster en Teleinformática e Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia. Profesor asociado, I.E., herman.paz@escuelaing.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

Anexo 1.

Códigos, categorías, subcategorías e indicadores para identificar trabajo interdisciplinar y aprendizaje autónomo con responsabilidad tanto en las actuaciones como verbalizaciones de los estudiantes considerados para el estudio de casos.

Categorías	Sub-categorías	Indicadores	Intencionalidad
1. Trabajo interdisciplinar	1.1. Aborde interdisciplinar para la comprensión del problema: El estudiante o grupo de	A-¿Visualiza y representa el carácter sistémico y complejo de la realidad involucrados en el problema?: SI __ NO __ B- En la comprensión del problema ¿Hacen aproximaciones a asuntos más amplios?: SI __ NO __	Las sub-categorías 1.1 y 1.2 corresponden a la manifestación de una visión interdisciplinar del estudiante al comprender y tratar de resolver el problema.
	1.2. Aborde interdisciplinar para la resolución del problema: El estudiante o grupo de	A-¿Discierne la pertinencia de tener en cuenta información disponible en otros campos del saber para resolver el problema?: SI __ NO __ B-¿Aplican conocimientos adquiridos en otros cursos para la resolución del problema?: SI __ NO __	
2. Aprendizaje autónomo con responsabilidad	2.1. Indicios de autonomía en el afrontamiento de la resolución y presentación de resultados. En la determinación de la mejor manera de llegar a la resolución del problema planteado y de exponer los resultados, los estudiantes considerados para el estudio de casos dan indicios de autonomía.	A-¿Toman decisiones? : SI __ NO __ B-¿Justifican las decisiones tomadas? : SI __ NO __ C-¿Seleccionan los recursos requeridos para la RP? : SI __ NO __ D-Reflexiona y discierne sobre los planes de acción a seguir en la resolución del problema?: SI __ NO __ E-¿Realizan trabajo independiente, por ejemplo experimentos? : SI __ NO __ F-¿Discierne por sí mismo las vías de solución? : SI __ NO __ G-¿Analiza y evalúa la consistencia de lo que dice y hace para presentar los resultados del trabajo? : SI __ NO __ H- ¿Analiza y evalúa la consistencia de las propias ideas? : SI __ NO __ I-¿Cuestionan con argumentos otras posiciones? : SI __ NO __	La sub-categoría 2.1 corresponde a la toma de decisiones, el trabajo independiente y la autonomía en los procesos de resolución de problemas y presentación de resultados

