



LA FORMACIÓN DE INGENIEROS:
UN COMPROMISO PARA EL
DESARROLLO Y LA SOSTENIBILIDAD

15 al 18
DE SEPTIEMBRE

20
20

www.acofi.edu.co/eiei2020

EVALUACIÓN DEL RESULTADO DE ESTUDIANTES DE RESPONSABILIDAD ÉTICA Y PROFESIONAL EN CURSOS TÉCNICOS DE INGENIERÍA

Jorge Francisco Estela

**Pontificia Universidad Javeriana
Cali, Colombia**

Resumen

La responsabilidad ética y profesional y la comprensión de los impactos de la ingeniería en varios contextos son habilidades importantes del ejercicio profesional de la ingeniería moderna. De allí que formen parte de las habilidades que se evalúan en la acreditación de ABET. En este trabajo se describe el instrumento usado para tal efecto en el curso de Termodinámica para Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Javeriana Cali. En dicho instrumento, los estudiantes deben proponer un modelo de emisión de dióxido de carbono y de distribución de fuentes de energía primaria consistentes con limitar el aumento de temperatura global a 2°C para mediados de este siglo. Para una muestra de 70 estudiantes en tres semestres, el resultado fue una calificación promedia de 4.24, mostrando un desempeño satisfactorio en la evaluación propuesta.

Palabras clave: ABET; acreditación; resultados de estudiantes

Abstract

The ethical and professional responsibility and the understanding of the impacts of engineering in a variety of contexts are important abilities of the professional practice of modern engineering. Thence, evaluating those abilities is included in the abilities evaluated in the ABET accreditation. This work describes the instrument used to that effect in the Thermodynamics course for Industrial Engineering in the School of Engineering and Sciences at Javeriana Cali. In that project, students had to propose a model for the emission of carbon dioxide and for the distribution of primary energy sources that would be consistent with limiting the increase of global temperatures to 2°C

by mid-century. For a sample of 70 students over three semesters, the average grade was 4.24, thus showing a satisfactory performance in the proposed exercise.

Keywords: ABET; accreditation; student outcomes

1. Introducción

En el contexto de la acreditación de ABET, la responsabilidad ética y profesional es uno de los resultados de estudiantes, es decir, de las habilidades que los estudiantes deben desarrollar durante su programa académico. Para facilidad del lector, aquí se reproduce el modelo de resultados de estudiantes de la Comisión de Acreditación de Ingeniería y que está vigente desde el año 2019 (ABET, 2020):

1. La habilidad para identificar, formular y resolver problemas complejos de ingeniería por medio de la aplicación de principios de ingeniería, ciencia y matemáticas.
2. La habilidad para aplicar el diseño de ingeniería para producir soluciones que satisfagan necesidades específicas con consideración a la salud pública, seguridad y bienestar, así como a factores globales, culturales, sociales, ambientales y económicos.
3. La habilidad para comunicarse efectivamente con una variedad de audiencias.
4. La habilidad para reconocer las responsabilidades éticas y profesionales en situaciones de ingeniería y para hacer juicios informados, que deben considerar el impacto de las soluciones de ingeniería en contextos globales, económicos, ambientales y sociales.
5. La habilidad para funcionar efectivamente en equipos cuyos miembros en conjunto proveen liderazgo, crean un ambiente colaborativo e incluyente, establecen metas, planean tareas y cumplen objetivos.
6. La habilidad para desarrollar y conducir experimentación apropiada, analizar e interpretar datos y usar el juicio de ingeniería para sacar conclusiones.
7. La habilidad para adquirir y aplicar conocimiento como sea necesario empleando estrategias apropiadas de aprendizaje.

La definición del resultado de estudiantes 4 indica claramente cómo se debe evaluar dicha habilidad: por una parte, evaluando cómo los estudiantes reconocen la responsabilidad ética y profesional en el ejercicio profesional y, por otra parte, evaluando cómo toman decisiones relativas a los impactos de la ingeniería sobre la sociedad en una variedad de contextos. Los instrumentos de evaluación más indicados son la proposición de dilemas éticos, problemas de diseño bajo restricciones conflictivas, la proposición de soluciones tecnológicas a reconocidos problemas contemporáneos, entre otros.

Por otra parte, los cursos técnicos de ingeniería, i.e. los típicos cursos de las ciencias de ingeniería y de aplicaciones tecnológicas y disciplinares, son naturalmente más a menos para evaluar los resultados de estudiantes de carácter técnico, es decir, los resultados 1, 2 y 6. Por su parte, la evaluación de los resultados de estudiantes no técnicos (sociales/profesionales) 3, 4, 5, y 7 es mucho más desafiante en los cursos técnicos.

En el modelo de evaluación de resultados de estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Javeriana Cali, cada curso disciplinar tiene asignado un conjunto de resultados de estudiantes que desarrollar y evaluar, de modo que varios cursos técnicos tienen que desarrollar el resultado de estudiantes 4, obviamente, dependiendo de la naturaleza y metodología del curso.

En particular para este trabajo, el curso de Termodinámica para Ingeniería Industrial tiene asignados los resultados de estudiantes 1 y 6 (cada uno con peso relativo del 40 por ciento cada uno) y los resultados 3 y 4 (con pesos relativos del 10 por ciento cada uno). Como es esperable, una parte del contenido del curso es el estudio de la conformación y cálculos de balances de masa, energía y entropía en ciclos de potencia. Esto ofrece una oportunidad inmediata para explorar la relación de la generación industrial de energía con la emisión de dióxido de carbono como producto de la combustión de combustibles fósiles. De allí surge la conexión inmediata con el cambio climático y el problema tecnológico de su mitigación por vía de la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Entonces, dicho problema, i.e. la relación de la generación de energía con el cambio climático, sirve de contexto para evaluar la responsabilidad ética y profesional. El instrumento principal de evaluación de este resultado de estudiantes es el proyecto del curso, que es la formulación de un escenario de emisiones y fuentes primarias de energía para que la concentración de CO₂ no supere 450 ppm ese año.

2. El escenario de emisiones de CO₂ y fuentes primarias de energía para el año 2050

Actualmente, no hay duda alguna de que el incremento de la temperatura promedio global se debe a la emisión de dióxido de carbono, y otros gases de efecto invernadero, debido, principalmente, a la generación de energía por combustibles fósiles. Otras causas también contribuyen, como los cambios en el uso de la tierra, la ganadería y la agricultura, la emisión de gases refrigerantes, y los procesos industriales intensivos en el uso de energía, como la siderurgia y la manufactura de cemento. La autoridad internacional encargada de monitorear las causas y efectos del cambio climático es el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Según el IPCC, para limitar a 2°C el aumento de la temperatura global con respecto al período preindustrial, la concentración de CO₂ en la atmósfera debería estar en el rango de 430 – 480 ppm (IPCC, 2014). Para este ejercicio, se especificó que el objetivo es una concentración de CO₂ de 450 ppm en el año 2050.

El impacto ambiental de una variable se puede modelar con la identidad *IPAT*, así: $I = P \times A \times T$. En el caso en cuestión, el impacto ambiental es la tasa de emisión de CO₂, dada en Mton CO₂/año (1 Mton = 1,000,000 ton); *P* es la población; *A* es la afluencia, que en este problema es el consumo per cápita anual de energía, en toe/año.persona, donde la unidad toe es una tonelada equivalente de petróleo (1 toe = 4.1868 x 10¹⁰ J); y *T* es el factor tecnológico, o intensidad de emisiones, en unidades de Mton CO₂/Mtoe.

Entonces, el problema consiste en proyectar los valores de las variables *P*, *A* y *T* en el año 2050 para que la cantidad acumulada de CO₂ en la atmósfera equivalga a una concentración de 450

ppm. Para el efecto, se asume que la atmósfera se comporta como una mezcla de gases ideales. La línea de base de la proyección son datos del año 2017, que son los últimos datos disponibles de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2019) y se asume que las variables crecen según modelo de crecimiento exponencial. El problema se descompone en dos grupos de población, los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés) y el “resto del mundo”. Así, el problema se reduce a proponer las tasas de crecimiento (expresadas como porcentajes de interés compuesto), i.e. una para cada variable del modelo *IPAT* en cada uno de los grupos de población. Esto debe ser así porque se trata de grupos de población con dinámicas poblacionales, económicas, y tecnológicas muy desiguales. La segunda parte del problema es proponer una distribución de fuentes de energía primaria en el año 2050 que sea consistente con el escenario de emisiones propuesto, esto es, que produzca las mismas tasas de generación de energía primaria y de emisión de dióxido de carbono. Para este efecto, se utilizan los factores de emisión estequiométricos de los tres combustibles fósiles. Los estudiantes reciben una hoja de cálculo programada, de modo que únicamente tienen que proponer las seis tasas de crecimiento de las variables *IPAT* y la distribución porcentual de las fuentes de energía primaria (carbón, petróleo, gas natural, nuclear, hidroelectricidad, biomasa, y renovables de cero emisiones).

Evidentemente, este es un problema sencillo de optimización que se puede resolver con la función Solver de Excel, pero la instrucción para los estudiantes es que lo resuelvan por ensayo y error porque esa es la forma como se evidencian las escogencias éticas que subyacen a la proyección de las variables del modelo *IPAT* para los dos grupos de población. Finalmente, y muy importante, el proyecto del curso no se limita exclusivamente a los dos modelos numéricos, sino que los estudiantes deben sustentar las razones por las que escogieron las tasas de crecimiento del modelo.

3. Resultados

Los resultados considerados para este trabajo son las notas obtenidas en el resultado de estudiantes 4 en los semestres 2018-2, 2019-2 y 2020-1. Estos períodos corresponden al cambio al modelo de resultados de estudiantes 1-7, que se implementó en la Facultad de Ingeniería y Ciencias a partir del segundo semestre de 2018. Este mismo proyecto también se aplicaba desde el primer semestre de 2016 hasta el primero de 2018, pero con el modelo de resultados de estudiantes A-K, en el que la habilidad en cuestión se evaluaba en dos resultados de estudiantes separados, el F para la responsabilidad ética y profesional, y el H para la comprensión de los impactos de la ingeniería. Para evitar la incertidumbre en hacer equivalentes ambos sistemas de medición, se escogió reportar en este trabajo sólo los resultados obtenidos con el modelo 1-7 vigente en el momento. Así, los resultados obtenidos para un total de 70 estudiantes fueron una nota promedia de 4.24 con desviación estándar de 0.39 y rango de 2.94 a 4.94. Los estudiantes se agrupaban en equipos de máximo 3 miembros formados según el Indicador de Tipos de Personalidad de Myers-Briggs para asegurar diversidad y complementariedad de estilos de aprendizaje y formas de trabajo.

4. Discusión

En principio, hay infinitas combinaciones de tasas de crecimiento de las variables *IPAT* que hacen converger la concentración de CO_2 en el valor objetivo. Pero el problema no se puede resolver de cualquier forma sino atendiendo a las consideraciones de sostenibilidad energética y desarrollo sostenible equitativo que se enseñan en el curso.

Así, la mejor estrategia para escoger las seis tasas de crecimiento es la siguiente:

- Para la población P , hay que atender a los estimativos de nivel de población para mediados de este siglo. La mayoría de estimativos dan una población mundial entre 9,000 y 10,000 millones para el año 2050. Por otra parte, examinando la evolución de la población en los últimos 20 años y asumiendo una población total de 9500 millones, es razonable asignar una tasa anual de 0.2 por ciento a la OECD y de 0.8 por ciento anual al resto de países.
- La afluencia A , i.e. el consumo anual per cápita es la variable que requiere más atención pues está directamente relacionada con la calidad de vida. Los datos de 2017 muestran una gran desigualdad pues el valor fue de 4.10 toe/cápita.año para la OECD mientras que fue de 1.39 toe/cápita.año para el resto del mundo. Las consideraciones de desarrollo sostenible equitativo obligan a buscar una convergencia de estos valores, posiblemente en el rango de 2.0 toe/cápita.año. Esto significa un ahorro sustancial de energía en los países desarrollados, que se debería lograr como parte integral de la mitigación de cambio climático, y un mejoramiento importante de la calidad de vida de los demás países. Así, la tasa de crecimiento debería ser negativa para la OECD y ligeramente positiva para el resto de países.
- Las tasas de crecimiento tienen que ser negativas para el factor tecnológico T , es decir, para la intensidad de emisiones. No solamente esto es necesario para que el problema converja, sino que resulta directamente de la sustitución de combustibles fósiles por energía renovable de cero emisiones. También, lo correcto es asignar una tasa de crecimiento más negativa a la OECD porque esos países tienen más capacidad económica y tecnológica.

Bajo las anteriores consideraciones, la tasa de generación de energía primaria llega a valores del orden de 16,000 Mtoe/año en el año 2050 y la tasa de emisión de dióxido de carbono llega a niveles del orden de 9,500 Mton CO_2 /año. Estos valores son consistentes con las predicciones del IPCC (IPCC, 2014).

En cuanto a la distribución de fuentes de energía primaria, para reproducir el valor de la tasa de emisiones obtenida en el modelo *IPAT*, es necesario que el aporte de los combustibles fósiles esté limitado al rango de 20 a 25 por ciento de la generación total de energía. De nuevo, esto es consistente con las previsiones actuales (IPCC, 2018).

Los resultados reportados en la sección 3 indican un desempeño satisfactorio del 84 por ciento de acierto con coeficiente de variación de apenas el 9 por ciento. Con respecto a la estrategia de solución Referente a la estrategia de solución del problema anotada en los párrafos previos, los hallazgos se pueden resumir así:

- Prácticamente todos los grupos asignaron bien las tasas de crecimiento de la población, entendiendo que es necesario disminuir la tasa de crecimiento global a pesar de las diferencias culturales y de creencias religiosas entre los grupos de población. Para tal efecto, los grupos coincidían en proponer una expansión significativa de la educación sexual de niños y niñas.
- Aproximadamente la tercera parte de los grupos asignó las tasas de crecimiento de la afluencia correctamente como se indicó arriba. Sin embargo, el error más significativo fue no resolver la desigualdad entre la OECD y el resto del mundo. Unos pocos grupos asignaron las tasas en la dirección correcta, pero no cerraron la brecha de desigualdad, mientras que otros asignaron las tasas en la dirección equivocada. Esto último es particularmente notorio porque significa que los países desarrollados aumenten más su calidad de vida por un mayor consumo de energía a expensas de que los países en desarrollo desmejoren su calidad de vida reduciendo su consumo de energía. Los grupos que acertaron proponían mejorar la eficiencia de conversión de la energía y cambiar los hábitos de consumo.
- En cuanto al factor tecnológico, prácticamente la totalidad de los grupos lo asignaron en la dirección correcta.
- En cuanto a la distribución de fuentes de energía primarias, la totalidad de los grupos redujeron sustancialmente la participación de los combustibles fósiles y biomasa, aumentando necesariamente la participación de todas las fuentes de cero emisiones. Es decir, mostraron comprender el rol de las opciones tecnológicas de generación de energía con baja emisión de dióxido de carbono. Pero fue notorio que muchos grupos le asignaron un crecimiento importante a la energía hidroeléctrica, lo cual no es correcto porque su potencial técnico ya está casi totalmente utilizado.

En resumen, los estudiantes resolvieron este problema mostrando una comprensión satisfactoria de las estrategias de sostenibilidad energética y de mitigación de la emisión de dióxido de carbono asociada a la generación de energía en escala global. En esencia, se trataba de un ejercicio de reasignación de recursos escasos sujeta a varias restricciones. En particular, tal reasignación de recursos significaba ahorrar energía a nivel individual en los países desarrollados para que los países en desarrollo tengan la oportunidad de mejorar su calidad de vida por vía de un aumento del consumo per cápita de energía. Se trata, por supuesto, de una expresión de la filosofía del desarrollo sostenible equitativo. Por los resultados anotados arriba, algunos estudiantes no alcanzaron a comprender este significado del ejercicio.

5. Conclusiones

El proyecto descrito en este trabajo es un instrumento útil para evaluar la responsabilidad ética y profesional y la comprensión de los impactos de la ingeniería en varios contextos. El problema planteado obligaba a los estudiantes a hacer escogencias bien ilustradas de variables en conflicto, a la vez que debían justificarlo. Hubo deficiencias claramente identificadas que requerirán ajustar la metodología del curso para mejorar la apropiación de la filosofía del desarrollo sostenible equitativo.

6. Referencias

- Accreditation Board of Engineering and Technology, (2020, junio). C3_C5_mapping-SEC-1-13-2018.pdf. Consultado el 7 de junio de 2020 en https://www.abet.org/wp-content/uploads/2018/03/C3_C5_mapping_SEC_1-13-2018.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Climate Change 2014: Synthesis report, Summary for policy makers, pp 22.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). Global warming of 1.5°C, pp 16.
- International Energy Agency (2019), Key world energy statistics, 2019, pp 60.

Sobre el autor

- **Jorge Francisco Estela** Ingeniero Químico de la Universidad del Valle, Doctor en Filosofía de la Universidad de Londres – Imperial College of Science, Technology and Medicine. Profesor Titular. jfe@javerianacali.edu.co

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

Copyright © 2020 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)